



# Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 4, año 2008 ISSN 0718-378X  
PP

## APLICACIÓN DE UN MÉTODO ADECUADO PARA RECUPERAR LOS COMPONENTES DE PILAS ELÉCTRICAS QUE PUEDEN SER REUTILIZADOS

IMPLEMENTATION OF SELECTIVE COLLECTION OF SOLID WASTES IN VALE CAMPUS  
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN FEDERAL UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL

Ma. Nefalí ROJAS-VALENCIA

Ma. Guadalupe URQUIZA-MORENO

### RESUMEN

En México se estima un consumo anual de 450 millones de pilas, en los últimos 43 años, se han liberado al ambiente aproximadamente 635 mil toneladas y a la fecha no hay regulaciones para su manejo apropiado, creando riesgos potenciales tanto para la salud humana como al ambiente. Con el propósito de contribuir a disminuir dicha problemática el objetivo de este trabajo fue identificar una metodología práctica para recuperar los componentes químicos de las pilas en desuso y realizar pruebas para la recuperación de metales en laboratorio. Se identificaron y compararon 6 métodos de tratamiento de pilas: 1) recuperación electroquímica de níquel y cadmio, 2) disolución de pilas en solución ácida, 3) polarografía de pulsos diferencial, 4) pirolisis, 5) aplicación de agentes químicos de estabilización y 6) reducción de los componentes de las pilas a pulpa. El método aplicado en este estudio por ser considerado el más factible fue el de disolución con ácido. Las pilas fueron clasificadas, limpiadas y pesadas, se les desprendió la cubierta externa, se diseccionaron para extraer sus componentes internos y se efectuó la disolución de los materiales que componen las pilas en 30 mL de ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>) por cada pila cilíndrica y por cada 5 pilas botón. La extracción con agitación magnética se efectuó durante 4 horas en una campana de extracción, los gases tóxicos que se desprendieron se burbujearon en agua. Al término de la reacción se filtra con papel Whatman del No. 4 a vacío y la solución obtenida se le cuantificaron los metales obtenidos de las pilas en un espectrofotómetro de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente. Los metales que se extrajeron con esta técnica fueron: de la pila botón Cu, Fe, Pb y Zn (3305, 23.42, 34.52 y 7, 883,655 mg/kg respectivamente), de pilas cilíndricas Rocket Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Ag (1121, 21.22, 19,599.8, 0.0452, 1792 y 0.0096 mg/kg respectivamente) y las pilas Duracell Cu, Fe, Pb y Zn (1.021, 13.18, 9.108 y 24,322 mg/kg respectivamente). Las concentraciones y pesos variaron en cuanto a la marca y tipo de pilas.

**Palabras clave:** componentes químicos, pilas, baterías, riesgo potencial.

## XV- Rojas-México

### APLICACIÓN DE UN MÉTODO ADECUADO PARA RECUPERAR LOS COMPONENTES DE PILAS ELÉCTRICAS QUE PUEDEN SER REUTILIZADOS

#### Ma. Neftalí ROJAS-VALENCIA

Doctora en Ciencias e Ingeniería Ambiental egresada de la UAM. Cuenta con 31 cursos complementarios, 33 informes de investigación, 21 artículos en revistas y dos manuales técnicos, 18 ponencias nacionales y 46 internacionales. Tiene el nombramiento de Investigadora Nacional Nivel I.

#### Ma. Guadalupe URQUIZA-MORENO

Maestría en Ingeniería Ambiental de la UNAM. Actualmente es Académica del Instituto de Ingeniería responsable del manejo del espectrofotómetro de plasma acoplado inductivamente, ha impartido cursos referentes a técnicas analíticas e instrumentales, cuenta con 4 artículos en revistas.

Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510, México, DF. México  
TEL.: +52 (55) 56233600 Ext. 8663 Fax: +52 ( 55) 56162164 e-mail:  
[nrov@pumas.iingen.unam.mx](mailto:nrov@pumas.iingen.unam.mx)

#### RESUMEN

En México se estima un consumo anual de 450 millones de pilas, en los últimos 43 años, se han liberado al ambiente aproximadamente 635 mil toneladas y a la fecha no hay regulaciones para su manejo apropiado, creando riesgos potenciales tanto para la salud humana como al ambiente. Con el propósito de contribuir a disminuir dicha problemática el objetivo de este trabajo fue identificar una metodología práctica para recuperar los componentes químicos de las pilas en desuso y realizar pruebas para la recuperación de metales en laboratorio.

Se identificaron y compararon 6 métodos de tratamiento de pilas: 1) recuperación electroquímica de níquel y cadmio, 2) disolución de pilas en solución ácida, 3) polarografía de pulsos diferencial, 4) pirolisis, 5) aplicación de agentes químicos de estabilización y 6) reducción de los componentes de las pilas a pulpa.

El método aplicado en este estudio por ser considerado el más factible fue el de disolución con ácido. Las pilas fueron clasificadas, limpiadas y pesadas, se les desprendió la cubierta externa, se diseccionaron para extraer sus componentes internos y se efectuó la disolución de los

materiales que componen las pilas en 30 mL de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ) por cada pila cilíndrica y por cada 5 pilas botón. La extracción con agitación magnética se efectuó durante 4 horas en una campana de extracción, los gases tóxicos que se desprendieron se burbujearon en agua. Al término de la reacción se filtra con papel Whatman del No. 4 a vacío y la solución obtenida se le cuantificaron los metales obtenidos de las pilas en un espectrofotómetro de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente. Los metales que se extrajeron con esta técnica fueron: de la pila botón Cu, Fe, Pb y Zn (3305, 23.42, 34.52 y 7, 883,655 mg/kg respectivamente), de pilas cilíndricas Rocket Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Ag (1121, 21.22, 19,599.8, 0.0452, 1792 y 0.0096 mg/kg respectivamente) y las pilas Duracell Cu, Fe, Pb y Zn (1.021, 13.18, 9.108 y 24,322 mg/kg respectivamente). Las concentraciones y pesos variaron en cuanto a la marca y tipo de pilas.

**Palabras clave:** componentes químicos, pilas, baterías, riesgo potencial.

## INTRODUCCIÓN

Las baterías y las pilas son dispositivos electroquímicos o generadores portátiles con capacidad para convertir la energía química en energía eléctrica. La batería o pila básica está formada por un ánodo (electrodo positivo), un cátodo (electrodo negativo) y un electrolito (solución líquida a través de la cual puede viajar una corriente eléctrica). Los componentes potencialmente peligrosos de las baterías / pilas incluyen: mercurio, plomo, cobre, zinc, cadmio, manganeso, níquel, y litio (1, 2).

Su uso es imprescindible, en México se estima un consumo anual de 450 millones de pilas. Están en todas partes, su desaparición significaría desde que alguien no despertara debido a que no le sonó el despertador hasta la muerte de alguien que usaba marcapasos (3).

Las pilas al término de su vida útil generalmente son desechadas en basureros, donde por acción de la humedad se corroen y destruyen, liberando metales pesados y compuestos tóxicos que contaminan suelos y cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Una pila alcalina puede llegar a contaminar 175,000 litros de agua, una pila de zinc-carbono 3,000 litros, una de zinc-aire 12,000 litros, la pila de óxido de plata 14,000 litros, 1 batería de reloj es capaz de contaminar medio millón de litros, una micro-pila de botón de mercurio 600,000 litros de agua, este último dato es el consumo promedio de toda la vida de 30 personas y 11 pilas de botón de óxido de mercurio pueden contaminar 6.5 millones de litros de agua. Aun más una pila común puede contaminar la cantidad de agua que necesita una familia durante toda su vida (3, 4, 5).

Se estima que entre 1995 y 2003 se generaron 35,500 toneladas anuales de residuos de pilas y baterías. Más de 500 millones de baterías de importación legal se consumen anualmente y aproximadamente 300 millones de baterías de origen ilegal. En los últimos 43 años, en el territorio nacional se han liberado al ambiente aproximadamente 635 mil toneladas de pilas, cuyos contenidos incluyen elementos inocuos al ambiente y a la salud (en cantidades proporcionalmente adecuadas), como carbono (C) o zinc (Zn), pero también elementos que pueden representar un riesgo debido a los grandes volúmenes emitidos, como es el caso de 145,918 toneladas de dióxido de manganeso ( $MnO_2$ ) y otros elementos tóxicos como 1,232 toneladas de mercurio (Hg); 22,063 toneladas de níquel (Ni); 20,169 toneladas de cadmio (Cd) y 77 toneladas de compuestos de litio (Li) (3, 5, 6).

Se han llevado a cabo varios intentos de programas de recolección en diferentes ciudades del país, así como iniciativas en escuelas, centros comerciales y a través de organizaciones civiles. También algunos sectores académicos han intentado desarrollar tecnología para la disposición segura o reciclado sin éxito aparente, por lo que el objetivo de este trabajo fue identificar una metodología práctica para recuperar los componentes químicos de las pilas en desuso y realizar pruebas para la recuperación de metales en laboratorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Primera fase.

La primera fase fue de gabinete, se identificaron y compararon diferentes alternativas de tratamiento de pilas en México, se consultaron varias fuentes:

1. La base de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, XVI Censo Industrial, en donde las ventas representaban el 93 % de la producción (7).
2. El estudio de mercado realizado por la Procuraduría Federal del Consumidor, PROFECO (8).  
El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (D.O. 25-88) y el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (D.O. 7-IV-93) (9)
3. Para las especificaciones técnicas, recolección, almacenamiento, transporte, rehúso, reciclaje, tratamiento y disposición final se consultó la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-93 que establece las características de los residuos peligrosos, previendo los criterios y listados que los clasifican, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (10).
4. En relación con el marco jurídico aplicable al procedimiento de recolección y reciclaje de pilas, se consultó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (D.O. 28-I reformada D.O. 13- XII-96), Capítulo VI.
5. Esta búsqueda incluyó la base de datos del CONACYT así como del Sistema de Información de Proyectos Científicos y Tecnológicos en el Área Ambiental (SICTA).

### Segunda fase

La segunda fase se llevo a cabo a nivel laboratorio los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

1. Para evitar interferencia de metales, todo el material de vidrio utilizado se lavó con una solución de extran libre de fosfatos para después dejarlo sumergido en una solución de  $\text{HNO}_3$  al 10% durante 12 horas, al termino se enjuagó con agua destilada, se dejó escurrir y secar.
2. En el método seleccionado se utilizaron pilas botón y pilas cilíndricas las cuales se limpiaron, clasificaron por marcas y componentes, se separaron cada una de sus partes, y se registró su peso con la ayuda de una balanza analítica OHAUS, Figura 1.

a)



b)



c)



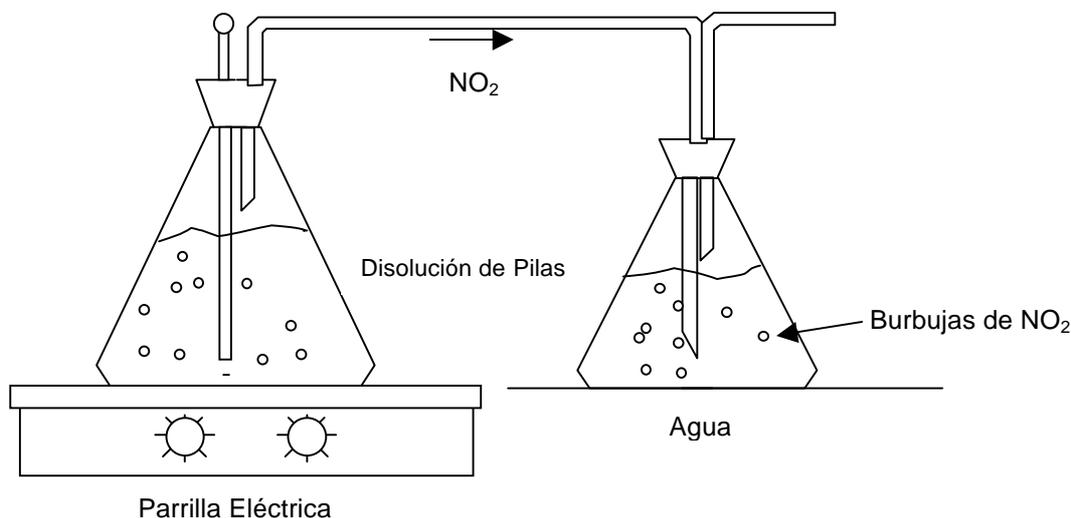
**Figura 1. Clasificación de pilas, a) recolección, b) pilas botón y c) pilas cilíndricas**

3. Se abrieron las pilas con pinzas de electricistas y pinzas miniatura tipo tenaza (de 103 mm 41/16" Marca TRUFER) y se diseccionaron con una navaja especial para cortar aluminio y metal (Modelo: STANLEY, 10-099), como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Equipo utilizado para corte, disección y separación de los componentes de las pilas.**

4. Después de extraer los componentes internos de las pilas, se colocaron por separado en un matraz erlenmeyer y se añadieron 30 mL de ácido nítrico concentrado de acuerdo al tipo de pila tapando inmediatamente el recipiente por la generación de vapores tóxicos y se hacen burbujear en agua. Esta reacción se mantuvo con agitación magnética durante 4 horas. la extracción se realizó utilizando material de vidrio, en un sistema como el que se muestra en la **Figura 3**.



**Figura 3. Disolución de pilas comunes, cilíndricas y de botón.**

En las tres pruebas efectuadas se registro una reacción exotérmica con desprendimiento de vapores tóxicos (óxido nítrico) el cual se hizo burbujear en agua. Debido a la naturaleza de la reacción, esta se trabajo en una campana de extracción y con las medidas de seguridad necesarias.

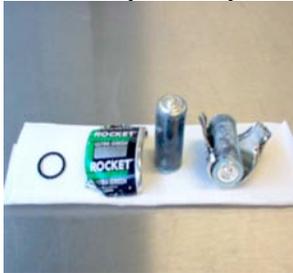
Las pruebas de extracción se realizaron de la siguiente manera:

- a. Pilas botón. A 5 pilas se les retiraron las cubiertas (ver figura 4), se colocan en un matraz erlenmeyer y se le añadieron 30 mL de ácido nítrico concentrado tapando inmediatamente el recipiente por la generación de vapores tóxicos y se hizo burbujear en agua. Esta reacción se mantuvo con agitación magnética durante 4 horas. Después de este tiempo se filtró a vacío en embudo büchner utilizando papel filtro Whatman del no. 4. El filtrado se aforo a 100 mL con agua destilada para su posterior análisis de metales.



**Figura 4. Corte, disección y separación de los componentes de las pilas botón.**

- b. A tres pilas marca Roker después del tratamiento de limpieza, registrado su peso y retirada la cubierta (ver figura 5), se colocaron en un matraz erlenmeyer, se adicionó 90 mL de ácido nítrico concentrado y se siguió el mismo procedimiento que para las pilas botón, al finalizar el tiempo de extracción se filtró y se aforo a 200 mL con agua destilada para su posterior análisis de metales.



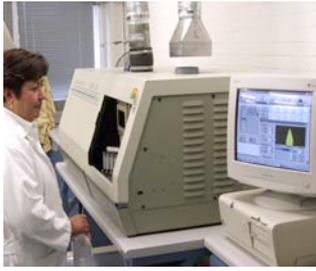
**Figura 5. Corte, disección y separación de los componentes de las pilas Rocket.**

- c. La última extracción se efectuó a tres pilas marca Duracell siguiendo el mismo tratamiento del punto b (ver figura 6).



**Figura 6. Corte, disección y separación de los componentes de las pilas Duracell.**

A las soluciones obtenidas se les cuantificaron los metales en un espectrofotómetro de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente, marca Jarrell Duo (ver figura 7). Para pilas botón, plomo, cobre, hierro y zinc; para la cilíndrica nacional plomo, cobre, hierro y zinc y para la cilíndrica asiática cromo, cobre, plomo, níquel, mercurio y zinc.



**Figura 7. Espectrofotómetro de emisión de plasma acoplado inductivamente.**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados primera fase.

Los resultados de la investigación de la identificación de alternativas de tratamiento de pilas en México con el fin de disminuir los problemas ambientales, dieron como resultados varios subtemas: a) Acciones tomadas en México para disminuir la problemática, b) investigación, c) aspectos jurídicos, d) aspectos de capacitación y e) aspectos de participación social. Sin embargo para los fines de este trabajo solo se tomaron en consideración los dos primeros subtemas.

#### a) Acciones tomadas en México por empresas para disminuir la problemática

1) **Enertec México es una empresa** que cuenta con certificado de industria limpia, el cual le fue otorgado el 3 de junio del 2001, cuenta con 5 plantas para la producción de baterías y una para el tratamiento de baterías (acumuladores):

- Planta Torreón, capacidad de producción anual 5.5 millones de baterías
- Planta Celaya, capacidad de producción anual 3, 780,000 baterías
- Planta Monterrey, capacidad de producción anual 43,800, 000 baterías
- Planta Escobedo, capacidad de producción anual 936,000 baterías
- Planta Ciénega, capacidad de producción anual 75,000 toneladas de plomo y 85,000 toneladas de polipropileno.
- Planta San Francisco, capacidad de producción anual 3.5 millones de baterías.

2) **La empresa denominada “Pilas al reciclaje”** planea establecerse en el Distrito Federal (D.F.) en la zona de Iztapalapa (11) y se dedicará a la recolección, almacenamiento y exportación a plantas de reciclado de pilas y baterías descargadas en todas las composiciones químicas excepto pilas que contienen cromato de calcio. Brindará servicio a instituciones privadas como corporativas, universidades y escuelas. El procedimiento será que las personas aporten una cuota por los servicios de esta empresa y que ésta a su vez sea quien pague a las

empresas en Norteamérica que será el país a donde se trasladarán estos residuos. Esta empresa aún no ha comenzado sus operaciones pues está en espera de contar con los permisos correspondientes.

**3) La empresa TRAIDEC** (representada en México por Río Biotecnología), empresa francesa dedicada al tratamiento de baterías para la recuperación de metales manifestó en el año 2000, su interés de invertir en México instalando una planta a cambio de un contrato que le permitiría recuperar su inversión a través del cobro por el servicio de reciclar pilas y baterías usadas que entren en su sistema. El proceso de pirolisis que esta empresa utiliza, transforma residuos peligrosos en energía, este proceso es denominado DTV, el cuál es un método usado para tratar diferentes residuos industriales peligrosos e infecciosos y consiste en:

- Preparación del residuo
- Disociación Térmica: termólisis proceso que produce gas y energía
- Recuperación de materiales
- Combustión de la termólisis
- Recuperación energética de los residuos

**4) La empresa INMETCO** (ubicada en Elwood Pensilvania) es otra empresa que está interesada en ampliar su negocio en México de disposición de baterías Níquel y Cadmio. Esta empresa lleva a cabo el proceso denominado High Temperature Metal Recovery (HTMR). Actualmente, esta compañía lleva a cabo la recuperación de baterías níquel-cadmio proveniente de Canadá (11).

**5) Se reporta también una empresa denominada SOGEM** la cual manifestó su capacidad de exportar pilas Ni-Cd usadas a Corea (11).

6) Cabe aclarar que México como miembro de la **OECD** puede importar y exportar a países miembros, residuos peligrosos para su tratamiento o disposición final. Esta facultad no la tienen otros países latinoamericanos al ser firmantes del Convenio de Basilea (12).

7) Una compañía dedicada a la producción de los acumuladores (marca América) También cuenta con tecnología para reciclarlos y cuentan con la certificación de industria limpia. Tiene plantas en Coahuila, Guanajuato, Nuevo León y Tlaxcala. La planta de reciclado se encuentra en Ciénega de Flores, Nuevo León.

8) En el año de 1999, **Motorota** de México puso en marcha un programa piloto de recolección de baterías usadas de teléfonos celulares con contenido Níquel y Cadmio a través de diferentes centros de venta de aparatos celulares. Las pilas acopiadas fueron transportadas hasta la frontera por la empresa mexicana RIMSA y enviadas a una empresa llamada **INMETCO** en Pensilvania para su reciclaje (5). Cabe aclarar que en este programa consideraba el obsequio de una antena para incentivar la participación del público en dicho programa. Sin embargo, tanto los trámites administrativos involucrados en la exportación así como los costos de transporte hasta la planta recicladora desalentaron a Motorola a continuar con el proyecto.

9) **La Red Tamaulipeca** reporta el programa piloto de recolección de baterías realizado por **Industrial Fosfato**. La recolección se llevaba a cabo dentro de esta empresa con participación de los empleados. Este programa piloto consistía en instalar contenedores en puntos estratégicos de la empresa y en comercios alrededor de la empresa. En un período de 8 meses se recolectaron 44 kilos de pilas. Para este programa sin embargo, no se consideró la disposición de las mismas por lo que no se sabe a donde las enviaron.

10) Actualmente la empresa **Imagen Inmobiliaria Urbana**, recoge las pilas en los alrededores del Distrito Federal y posteriormente, las pilas colectadas pasan a manos de la **empresa Citrasa**, ésta se encarga del tratamiento de las pilas, esta última empresa se localiza en Irapuato, Guanajuato.

11) El programa “**Manejo responsable de pilas usadas en el Distrito Federal (D.F.)** surgió el 27 de febrero del 2007, es impulsado por la secretaria del medio ambiente del D.F., y la compañía Imagen Inmobiliaria Urbana. Las pilas son colectadas en las 280 columnas informativas, a las que se les ha adaptado un contenedor, de 40cm de alto por 24cm de diámetro aproximadamente, distribuidas en las 16 delegaciones. Dicho programa busca proteger el relleno sanitario y fomentar la participación de la ciudadanía en el manejo responsable de pilas, depositando las pilas exclusivamente en las columnas informativas, cubriendo con cinta adhesiva los polos y depositándolas en los orificios indicados en las columnas.

Si bien en México existen empresas que en otros países realizan programas de acopio de baterías recargables usadas tales como Radio Shack y Home Mart, estos programas no se llevan a cabo en nuestro país.

Dichos programas tampoco consideran que, en caso de que se optara por una disposición final, no se cuenta con la infraestructura adecuada en los municipios para recibirlos; además, todo programa de recolección debe contemplar la separación de las diferentes tipos de baterías, ya que cada uno requiere de tecnología diferente para ser dispuesto o reciclado.

## **b) Investigaciones desarrolladas en México.**

A nivel de investigación se identificaron pocos reportes de desarrollo de procesos relacionados con el reciclaje o rehúso de pilas y baterías. A continuación se resume la información encontrada al respecto.

1) El estudio de investigación titulado “**Recuperación electroquímica de cadmio**” fue la tesis de maestría de Jiménez (13) asesorada por el Dr. Jorge Ibáñez Cornejo de la Universidad Iberoamericana, Campus Santa Fe, se refiere al desarrollo de un proceso basado en técnicas electroquímicas para la recuperación de cadmio a partir de una solución de níquel y cadmio presentes en pilas recargables.

Este proceso se propone como tecnología para el manejo de baterías de teléfonos celulares, no se determinaron costos.

2) Otro reporte de desarrollo de procesos para la recuperación de metales de pilas usadas se refiere a una tesis de licenciatura en Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza., titulada “**Diseño de un reactor batch para el tratamiento de pilas de desecho**” en la que se reporta el desarrollo de una técnica para el tratamiento de pilas secas a partir de la disolución con ácido nítrico, con una efectividad del 80 % (14). Este trabajo fue dirigido por el Dr. Loyo Arnaud, Eduardo. Dicho método es usado principalmente por personal y alumnos de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Tampoco se reportan costos.

3) **Polarografía de pulsos diferencial:** se obtiene al mismo tiempo la determinación de Níquel y Cadmio. Lo que se hace es un análisis de las trazas metálicas. Para aplicar este proceso se requiere aparte de un equipo especializado, de personal altamente capacitado (15).

4) **Pirolisis o DTV:** El proceso de pirolisis transforma residuos peligrosos en energía, es un método usado para tratar diferentes residuos industriales peligrosos e infecciosos y recuperación energética de los residuos, empresa privada que representa a Traidec en México. “Identificación de alternativas para el reciclado de pilas y baterías” Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca/Instituto Nacional de Ecología/Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas (16).

5) **Aplicación de agentes químicos de estabilización.** Este método se recomienda para todos aquellos que utilicen acumuladores.

A las pilas o baterías confinadas en bolsas de plástico de 100 micrones se les incorpora, previo a su extracción de aire y posterior sellado, tres agentes químicos estabilizadores que neutralizan los componentes peligrosos de los distintos tipos de pilas o baterías que se comercializan. Se han encontrado tres agentes estabilizadores que neutralizan el plomo, el mercurio, el ácido sulfúrico y el cadmio, principales componentes contaminantes de las distintas pilas o baterías que existen en el mercado:

- Para el plomo actúa como neutralizador los sulfuros de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ).
- Para el ácido sulfúrico, el agente estabilizador es el hidróxido de Sodio ( $\text{NaOH}$ ).
- Para el cadmio, el agente de estabilización es el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Colocando como neutralizadores o estabilizadores al sulfuro de sodio, hidróxido de sodio y carbonato de sodio, en partes iguales, se tiene la seguridad de inhibir a los elementos contaminantes de cualquier tipo de pila o batería, sin necesidad de realizar la clasificación previa de las mismas (17).

6) Otro método de reciclado es la **reducción a pulpa**. Los residuos se mezclan con agua y se convierten en una lechada pastosa al pasar por un triturador. Los trozos de metal y otros sólidos se extraen con dispositivos magnéticos y la pulpa se introduce en una centrifugadora para realizar la separación de los materiales. En esta etapa se separan los materiales más pesados, como trozos de cristal y se envían a plantas de reciclado de papel y fibra, y el residuo restante, que es la menor masa de material se deposita en un vertedero.

### Resultados segunda fase (en laboratorio).

En la colecta de pilas se pudo diferenciar 12 marcas y de 3 a 4 tamaños. Por lo que respecta a la pila de la marca Duracell exclusivamente se encuentran en el mercado en la modalidad alcalina y en el caso de la pila Rocket solo se encuentran de cinc-carbón, por lo que toca a la pila Panasonic se les encuentra tanto alcalinas como de cinc-carbono. Con respecto a los tamaños de las pilas alcalinas se encuentran de todos los tamaños AA, AAA, C y D y por lo que respecta a las pilas cinc-carbono se encuentran AA, C y D principalmente (ver **Tabla 1**).

**Tabla 1. Resultados de la clasificación de las pilas colectadas.**

No.	Tipo de pila	Tamaño	Volts
<b>Pilas cilíndricas (Alcalinas)</b>			
1	Duracell	AA AAA C D	1.5
2	Sony	AA AAA C D	1.5

3	Energizer	AA AAA C D	1.5
4	Panasonic	AA C D	1.5
5	Kodak	AA C D	1.5
<b>Pilas cilíndricas (cinc-carbono)</b>			
6	Rocket (sin mercurio o cadmio)	AA C D	1.5
7	Eveready	AA C D	1.5
8	Ray-o-vac	AA C D	1.5
9	Panasonic	AA C D	1.5
10	Samsug	AA D	1.5
11	Sony	AA D	1.5
12	Supergard	AA D	1.5
<b>Pilas botón (alcalina)</b>			
13	Bulton-cell (AG13)	Varios	No reportado

En la **Tabla 2** se muestran los resultados promedio de tres pilas seleccionadas en base a su composición como es la pila alcalina Duracell, la de cinc-carbón Rocket y la de tipo botón marca Bulton la cual también es alcalina.

Dichas pilas fueron diseccionadas, se separaron y pesaron cada una de sus partes tal como se indica en la metodología, los resultados mostraron que ambas pilas entre sus componentes tienen aislantes, empaques, selladores y válvulas. La cubierta de la pila Duracell y la de tipo botón son más resistente, tiene una cubierta de aluminio y un recipiente de acero, por lo cual es más difícil abrirlas. Con respecto a la pila Rocket que es de origen asiático presenta una cubierta metálica muy delgada, se abre fácilmente y solo una funda vinílica en su interior

sostiene los componentes cinc-carbono, además tiene un anillo de cartón mientras que las la Duracell y la de tipo botón tienen anillos metálicos, ver detalles **Tabla 2**.

**Tabla 2. Registro promedio de 3 tipos de pilas, peso, tamaño y volts.**

No.	Pilas cilíndricas.	Peso de la pila en (gr.)	Tamaño	Volts	Partes de la pila peso en (gr.)
1	Duracell. (Alkaline Battery)	137.5016	D	1.5	Cubierta externa de plástico 0.0003 Tapón (+) 1.0284 Tapón (-) 0.3139 Cartón (-) 0.0001 Pila vacía 133.34
2	Rocket sin mercurio o cadmio	44.3000	C	1.5	Cubierta externa de aluminio 6.8 Cubierta interna de plástico 0.5040 Tapón de aluminio (+) 0.9044 Tapón de aluminio (-) 0.9872 Tapas de plástico 0.7969 Cartón (-) 0.0001 Pila vacía 34.30
No.	Pilas botón	Peso de la pila en gr.	Tamaño	Volts	Partes de la pila peso en (gr.)
1	BULTON-CELL (AG13)	1.88	----	---	Cápsulas de aluminio 1.400 Cápsula de cobre 1.4210 Cubierta externa 0.3713 Tapa metálica 0.3275 Aro de plástico 0.0605 Tapa de plástico 0.0605 Cubierta 0.1405 Capsula vacía 0.4053

La pila botón-bulton, por su tamaño y su forma circular es más difícil abrirla y separar sus partes sin embargo se pudo apreciar que dentro de la placa del ánodo se encuentra una masa de polvo de Zinc, en seguida un material absorbente que lo separa de una pasta de carbón en donde se encuentra impregnado el dióxido de manganeso, todo esto en una diminuta lata de acero.

Al aplicar la técnica o proceso de disolución de pilas, en una solución ácida para la recuperación de metales los resultados fueron los siguientes:

En la pila botón se determinaron los siguientes parámetros y concentraciones de Cu 3,305 (mg/kg), Fe 23.42(mg/kg), Pb 34.52 (mg/kg) y Zn 7,883,655 (mg/kg), en las pilas cilíndricas marca Rocket se determinaron Cu 1,121 (mg/kg), Pb 21.22 (mg/kg), Zn 19,599.8 (mg/kg), Cr 0.0452 (mg/kg) y Ni 1,792 (mg/kg), y en las pilas Duracell se determinaron las siguientes concentraciones Cu 1.021 (mg/kg), Fe 13.18 (mg/kg), Pb 9.108 (mg/kg) y Zn 24,322 (mg/kg). Las concentraciones y pesos variaron en cuanto a la marca, tamaño y tipo de pilas, ver **Tabla 3**.

Con respecto a la pila Rocket según se especifica en su etiqueta no contiene mercurio los resultados nos dieron una concentración de Ag 0.0096 (mg/kg) y con respecto a las pilas tipo botón se obtuvieron altas concentraciones de mercurio, **Tabla 3**, en la literatura se reporta que contienen de 30 a 50 % de mercurio (3, 5).

Cuando se hizo la digestión de la pila bultón-cell se observó la presencia de altas concentraciones de cobre, desde su disolución al tornarse de color verde.

**Tabla 3. Resultado de la determinación de metales en pilas cilíndricas Rocket, Duracell y de Botón.**

Parámetro	Método	Resultado (mg/kg)
<b>Botón-bultón</b>		
Pb	EPA 7420	34.52
Cu	EPA 7210	3305
Fe	EPA 7380	23.42
Zn	EPA 7950	7,883,655
Ag	EPA 7760	603,013.8
<b>Cilíndrica Duracell "D" (Nacional)</b>		
Pb	EPA 7420	9.108
Cu	EPA 7210	1.021
Fe	EPA 7380	13.18
Zn	EPA 7950	24,322
<b>Cilíndrica Rocket "C" (Asiática)</b>		
Cr	EPA 7190	0.0452
Cu	EPA	1121

	7210	
Pb	EPA 7420	21.22
Ni	EPA 7520	1,792
Ag	EPA 7760	0.0096
Zn	EPA 7950	19,599.8

Se han reportado los daños a la salud y al medio ambiente de algunos de estos metales.

El **plomo** en pequeñas proporciones provoca: fatiga, dolores de cabeza, musculares y de estómago, anorexia, estreñimiento y en su fase más crítica “cólico del plomo”, es decir, calambres abdominales intensos, acompañados de náuseas, vómitos y presión arterial elevada (3, 5).

El **mercurio** es posible cancerígeno y es bioacumulable, Una alta exposición puede dañar el cerebro, los riñones y al feto, provocando retraso mental, en el andar o el habla, falta de coordinación, ceguera y convulsiones. El mercurio que se emite en los basureros contamina el agua y la tierra, con lo que puede llegar a la comida pues se acumula en los tejidos de los peces (18).

La **plata** Disturbios digestivos, impregnación bucal, argiria (intoxicación crónica caracterizada por que la piel toma un color azulado), puede causar la muerte (18).

Las aportaciones de **níquel** al ambiente provocan ataques de asma luego de periodos de exposición. La ingesta de agua con altos niveles de este elemento ocasiona dolores de estómago y efectos adversos en la sangre y los riñones. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el níquel metálico es carcinogénico y que sus compuestos son sustancias reconocidas como carcinogénicas (3, 5).

El **romo** solo se reporta que puede ser carcinogénico e irritante, el **hierro** puede causar gastroenteritis o inflamación de la mucosa intestinal, náuseas, vómito y diarrea. Por lo que respecta al Cobre no se reportan daños a la salud.

El **zinc** en cantidades balanceadas forma parte de nuestro organismo (oligoelemento), pero si sus concentraciones rebasan los límites requeridos puede causar problemas pulmonares, puede producir lesión residual, a menos que reciba tratamiento de inmediato. El contacto con los ojos producirá una lesión grave aunque sea atendido de inmediato (18).

Como muestran los resultados sintetizados en el **tabla 3** no queda ninguna duda de que son grandes volúmenes emitidos de contaminantes por la mala disposición de las pilas, como 145,918 toneladas de  $MnO_2$ ; 1,232 toneladas Hg; 22,063 toneladas de Ni; 20,169 toneladas de Cd y 77 toneladas Li (3, 5, 6), ya que cada pila tiene una alta concentración de metales.

## CONCLUSIONES

1. Se llega a la conclusión de la necesidad de una Norma específica para pilas, el programa general de pilas, que se genere debe incluir la separación de las mismas con base en sus características químicas.
2. A pesar de la publicación de la LGEEPA en 1988, y del Reglamento en materia de residuos peligrosos, que regulan el manejo de pilas y baterías, no se han puesto en marcha programas de recolección y reciclado, por lo que es necesario que en el marco de la nueva ley se inicien planes de manejo, de lo contrario los niveles de contaminantes como manganeso, plomo, mercurio, cadmio, níquel y litio pueden llegar a presentar niveles más elevados de lo antes observado en aire, agua y suelo.
3. A nivel de investigación se identificaron muy pocos reportes de desarrollo de procesos relacionados con el reciclaje o rehúso de pilas y baterías. La mayoría de los trabajos se refieren a iniciativas para el acopio de estos materiales, pocos incluyen la disposición adecuada de los mismos.
4. La mayoría de los reportes de investigación solo tienen un rango de aplicación restringida y no se abordan aspectos económicos, no se considera que el reciclado de algunas baterías, no es viable, en términos económicos, ya que la energía utilizada en el proceso no es costada por los materiales recuperados.
5. Se confirmó la efectividad de recuperación de metales con la técnica de disolución ácida de pilas. Se recomienda hacer estudios para purificar dicho metales con fines de comercialización.
6. Los procesos de lixiviación pueden dejar hasta un 70 % del carbón contenido en las pilas libre de metales y listo para darle otro uso, como por ejemplo, para filtrado de aguas residuales.

7. El establecimiento de fundamentos jurídicos que obliguen a los fabricantes de pilas a recolectar las pilas de desecho es una parte esencial para establecer una red de recolección y reciclaje de pilas sustentables.

## RECOMENDACIONES

Lo ideal es seguir el criterio de las **tres Rs**, las cuales se resumen a continuación:

1. **Reducir:** disminuir la dependencia hacia las pilas utilizando la red eléctrica, elegir pilas que contengan menos productos perjudiciales, aspecto que algunos especifican en la envoltura.
2. **Reutilizar: usar pilas recargables**, pues aunque sus precios son más altos, a la larga salen más baratas, ya que se pueden usar hasta mil veces antes de tirarlas e, incluso, para toda la vida. Así el daño ecológico es menor. Una pila recargable sustituye 300 pilas comunes y corrientes y puede durar 50 veces más que una de carbón-zinc
3. **Reciclar:** Desarrollar métodos prácticos para extraer los componentes de las pilas y reutilizarlos.

Sin embargo se requieren de acciones más específicas las cuales se enlistan en seguida:

- Para tener un medio ambiente seguro es necesario que se efectúen programas de concientización para este tipo de residuos creando una Cultura ambiental. Es necesario trabajar en conjunto gobierno, comercios, empresas y ciudadanía de tal manera que se pueda tener una separación de este tipo de desechos y evitar contaminar agua y suelo.
- Nunca usar pilas nuevas con usadas. Solo se logra reducir la vida útil de ambas, ya que las nuevas pasan su energía a las viejas, al término de la vida útil depositarlas en recipientes de plástico de boca ancha y ubicarlas en lugares de difícil acceso para niños y animales, ventilados y al resguardo del agua.
- Nunca se deben quemar. Es perjudicial para la salud pues se desprenden los vapores de metales pesados.
- Evita las pilas-botón y, si tienes que comprarlas, elige las de litio, las de zinc-aire o las de óxido de plata, que no tienen o tienen muy poco mercurio.

- En principio se recomienda utilizar los artefactos eléctricos conectados a la red y así evitar la utilización de pilas. Los aparatos mixtos (pilas y red) enchúfalos siempre que puedas. Hay que tener en cuenta que la energía de las pilas cuesta hasta 450 veces más que la que suministra la red.
- Llevar a la práctica un programa prioritario de recolección y reciclado para las baterías que contienen Ni-Cd usadas en respaldo de energía para computadora, cámaras de video, herramientas y otros enseres domésticos portátiles.
- Analizar y evaluar experiencias exitosas en otros países respecto de programas de recolección, disposición y/o reciclado de pilas y baterías.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1). PROFECO (1998). “Conozca cual pila comprar” Revista del Consumidor, No. 262.
- (2). EPA (2005). Environmental protection Agency. Municipal Solid Waste.
- (3). Jacott, M (2005) “Pilas y baterías: tóxicas en casa” [www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx).
- (4). Urquiza-Moreno y Ma. Neftalí Rojas-Valencia “Riesgos potenciales tanto a la salud como al ambiente por desechos de pilas eléctricas”. Memorias en CD del 2do. Congreso Internacional Ambiental del Caribe. Mayo, 19, 20 y 21 de 2004:1-8. Centro de Convenciones. Cartagena de Indias- Colombia.
- (5). Castro y Díaz. La Contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta Ecológica, INE-SEMARNAT México. núm. 72. México 2004.
- (6). Mac Kay, Nancy (2000). “Estrategias Ambientales: Las decisiones ambientales y los protagonistas” 2º Parte: Derecho a la información ambiental - Capítulo 5: Crónicas de nuevos caminos. [nancymac@arnet.com.ar](mailto:nancymac@arnet.com.ar) <http://usuarios.arnet.com.ar/nancymac/>
- (7). INEGI, XIV Censo Industrial. Industrias Manufactureras. Productos y Materias primas, Censos Económicos, 1995.
- (8). PROFECO (1995) “Conozca quién es quién en pilas eléctricas” Revista del Consumidor. Reporte especial No. 226, diciembre.

- (9). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 1988. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero.
- (10). Norma Oficial Mexicana, NOM-052-ECOL-1993, Que establece las Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario Oficial de la Federación, 22 de octubre de 1993.
- (11). Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos (REMEXMAR), “Revisión y análisis de las experiencias nacionales respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de pilas, baterías, lubricantes y envases de plaguicidas”. <http://www.remexmar.org.mx>.
- (12). OECD Steering Group ON nickel/Cadmium Batteries, “Draft Guidance Document for Developing Successful Systems for the Collection and Recycling of Nickel/Cadmium Batteries”, 1998. México.
- (13). Jiménez, J. S. (2000) “Recuperación electroquímica de cadmio de mezclas de níquel y cadmio” fue la tesis de maestría de Tesis para obtener el grado de Maestro. Universidad Iberoamericana, Campus Santa Fe.
- (14). Santiago Osorio, Edgar. 2001. “Diseño de un reactor Batch y el proceso para tratar pilas y recuperar sus componentes”. Tesis Lic. (Ing. Químico)-UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 115 p.
- (15). Mayén-Mondragón, R.; Baeza, A.; Ibanez, J. G. (2002) “Simultaneous Determination of Nickel and Cadmium by Differential Pulse Polarography” Analytical Sciences February (Japan) Vol. 18:191-193
- (16). SEMARNAT, INE, Dirección General de Regulación Ambiental, Dirección de Economía Ambiental. Propuesta de sistema de depósito, Reembolso para la Gestión Ambiental de Pilas Eléctricas de Consumo familiar, 1997
- (17). Marrello, P. M. (1998) “Agentes químicos estabilizadores” 2 páginas <http://www.lions.org.br/circle/articulos/pilapilas.htm>.
- (18). Penido, M. J.H. et al., 2006. Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de América Latina y el Caribe. Actualizado y adaptado por Wilson Leire Mansur y José Enrique Penido Monteiro; coordinación técnica de karin Segala; Traducción de Hernán Baeza.- Rio de Janeiro; IBAM, 2006. 264p.