

**EMISIÓN DE MERCURIO SÓLIDO Y GASEOSO
PROCEDENTE DEL DESCARTE DE LÁMPARAS Y PILAS
A LAS BASURAS DOMICILIARIAS**

LUJÁN, JUAN C.¹, ÁVILA NÉSTOR M.² Y CAMPOS JUAN E.³

1: CEDIA

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Tucumán
Dirección postal
e-mail: jlujan53@yahoo.com.ar, web

2: Departamento Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Tucumán

3: Departamento Ciencias Básicas

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Tucumán

Resumen. *Se realizó un estudio experimental de laboratorio, consistente en desarmar lámparas de descarga gaseosa de bajo consumo, tubos fluorescentes y de pilas botón de varias marcas comerciales, para estudiar el contenido de mercurio y otras sustancias peligrosas en su interior. En el caso de las lámparas fluorescentes, practicando un singular artificio de perforación de zócalos, se extrajo con una microbomba de aspiración y analizó por burbujeo en fase húmeda, la atmósfera interior de baja presión para estudiar el mercurio gaseoso que termina liberándose al aire durante la rotura del descarte.*

También se estudió el contenido de mercurio sólido al estado elemental o de óxido mercurioso presente en el interior de estos componentes, que generalmente suele tener como destino final un depósito de residuos urbanos. Además se determinó complementariamente la concentración de níquel, cadmio, cromo, litio, potasio y la alcalinidad procedente del electrolito de las pilas desarmadas.

En otro ensayo se experimentó con el comportamiento del mercurio durante el lixiviado en columnas de suelo natural, para determinar si dicho metal percola y cambia estado de oxidación, por otra parte se examinaron unos pocos lixiviados de un relleno sanitario de residuos domiciliarios del gran San Miguel de Tucumán sin encontrar hasta el momento mercurio en los mismos. La literatura consultada refiere cantidades de mercurio de 5 a 10 miligramos por lámpara descartada, pero los resultados hallados fueron mucho menores.

También se ensayó utilizando frascos lavadores de gases, la captura de mercurio gaseoso para llevarlo a una forma insoluble y reducir la toxicidad ecológica.

Finalmente se realiza un cálculo estimativo sobre la carga anual de mercurio arrojada al medio ambiente en materia de residuos urbanos por habitante.

Palabras clave: Lámparas Gaseosas, Pilas, Baterías, Mercurio, Cadmio, Residuos Sólidos.

1. INTRODUCCIÓN

El principal problema de los desechos electrónicos radica en que se componen de metales pesados y sustancias tóxicas como plomo, cromo, selenio, cadmio, litio, mercurio, arsénico, etc. El peligro se origina cuando estos aparatos dejan de ser útiles y se disponen de forma

incorrecta, se arrojan a basureros, se queman, o se desarmen, utilizando procesos insalubres para recuperar ciertos componentes. Estas situaciones causan que se liberen al ambiente los componentes químicos con los que fueron construidos contaminando el suelo, las aguas subterráneas y el aire, lo cual causa daños directos o indirectos a la salud de los seres vivos [1]. La información disponible en numerosos sitios de la web, indica que las lámparas de bajo consumo y los tubos fluorescentes, contienen una pequeña cantidad de mercurio sellada en el tubo de vidrio, cercana a 5 miligramos de mercurio en el caso de lámparas y a 10 miligramos en los tubos. Comparativamente los termómetros clínicos contienen hasta 1.200 miligramos de mercurio, el equivalente al mercurio contenido en 120 tubos fluorescentes [1] [2]. El mercurio no se libera durante la vida útil de estas luminarias, pero si se rompen ello si ocurre, pasando una menor porción por vía gaseosa dada la baja presión de vapor, y el resto queda mezclado con el polvo y el vidrio [3]. Conforme el tubo o la lámpara que contiene vapor de mercurio se usa, parte del mercurio se va adhiriendo a la superficie interna de las lámparas, por lo que el mercurio elemental liberado a la atmósfera en el caso de rotura, es menor comparado con un tubo o lámpara nueva. Muchos fabricantes están reduciendo el contenido de mercurio en las lámparas fluorescentes y pilas. Gracias a los avances tecnológicos y al compromiso de la industria, el promedio de mercurio contenido en las lámparas fluorescentes es al menos un 20 % menor que en el pasado. Algunos fabricantes han hecho reducciones mayores, reduciendo el contenido de mercurio entre 1,4 y 2,5 miligramos por lámpara. Actualmente existen discusiones y negociaciones intergubernamentales orientadas a establecer un convenio mundial sobre el control del mercurio, e incentiva a las organizaciones no gubernamentales (ONG) y a otras de la sociedad civil (OSC), para que se involucren en el proceso del convenio. El mercurio es un contaminante mundial temible [4] [11]. El conocimiento científico sobre los daños a la salud humana y al medio ambiente causado por la exposición al mercurio ha ido aumentando con los años y muchos gobiernos ya han tomado algunas medidas para controlar dentro de sus jurisdicciones las actividades industriales y otras actividades humanas que liberan mercurio en el medio ambiente [5] [12].

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue comprobar si la cantidad de mercurio presente en las pilas y lámparas de descarga de bajo consumo y tubos fluorescentes es semejante a la que indica la información disponible en la web y en el futuro desarrollar de un método que pudiera transformar ese mercurio en formas químicas de baja biodisponibilidad. Como así también dar pautas de procedimientos a los usuarios, cuando se rompen o se deben descartar estos artículos, para evitar la contaminación del hogar y la exposición personal a sustancias tóxicas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

3.1 Estudios sobre pilas botón

El primer paso del trabajo fue desarrollar procedimientos apropiados para desarmar lámparas y pilas, a los efectos de estudiar su material interior.

Para desarmar pilas botón se utilizaron pinzas de fuerza tipo “pico de loro”, pinzas de corte y punta, estiletes, morsa y espátulines de acero inoxidable, volcando el contenido electrolítico en cajas de Petri, separando las juntas de plástico y disolviendo todo el material en ácido nítrico caliente para rescatar el mercurio y otros metales pesados. Las mediciones de mercurio se realizaron con los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, método de la ditizona 3500-Hg. APHA, AWWA, WPCF) [6] [7]. Las herramientas debieron ser descontaminadas con ácido luego de cada uso y lavadas con soluciones neutralizantes. Se usó el siguiente instrumental analítico: peachímetro, conductímetro, espectrofotómetro rango visible, balanza analítica y fotómetro de llama con filtros interferenciales para litio, bario, y potasio. Se realizó una marcha analítica, identificando las sustancias contenidas en el electrolito de las pilas que se comercializan en el mercado nacional, para conocer el grado de toxicidad humana y ambiental (eco-toxicidad). También se hicieron experiencias sobre el comportamiento de dichas celdas desarmadas y expuestas a la acción de aguas ligeramente ácidas, neutras y alcalinas, a los efectos de determinar la movilidad de los metales pesados hacia dichos medios. Así mismo se enterraron pilas enteras y desarmadas en columnas de tierra natural, siendo sometidas a la acción de lluvias artificiales con agua destilada, analizándose los lixiviados. Fue inmediata la aparición de incrementos en el pH debido a la naturaleza alcalina de algunas pilas. También se encontraron cambios significativos en la conductividad eléctrica y hubo hallazgos de metales no citados por la bibliografía como el bario. No se detectaron en 12 meses de ensayos cadmio y níquel, es posible que se encuentren en la forma de óxidos hidratados debido al medio alcalino que proporciona el hidróxido de potasio de las pilas, el cual además provoca la impermeabilización de la columna de suelo por aglutinación de partículas coloidales. En cambio si se encontró cadmio en la superficie de tierra de las columnas, dicho metal llegó por difusión capilar hacia arriba, procedente de las pilas recargables de níquel-cadmio. A los 24 meses de iniciados los ensayos recién apareció un frente de mercurio monovalente $Hg +1$ en los lixiviados de pilas tipo botón desarmadas.

3.2 Estudios sobre lámparas de descarga

Se investigó el contenido de mercurio elemental sólido y gaseoso contenido en las lámparas de bajo consumo y los tubos fluorescentes por métodos destructivos.

Mercurio al estado de vapor

En el caso de las lámparas de bajo consumo, se construyeron varios dispositivos cerrados para romper la lámpara por percusión, mientras se aspiraba la atmósfera interior mediante una bomba de vacío, haciendo pasar el aire por un frasco lavador con difusores finos conteniendo ácido nítrico concentrado caliente (80 °C). La cantidad total de mercurio presente en una lámpara que se rompe, se reparte entre el gas y el polvo adherido al vidrio de la lámpara. En un taper cilíndrico con orificios de entrada y salida de aire, se coloca la lámpara y se la destruye percutiendo con una barrilla de acero, mientras se arrastra la atmósfera mediante un tren de muestreo conteniendo un absorbedor con ácido nítrico a 80 °C y bolitas de vidrio para mejorar el contacto líquido-gas; se utilizó un caudal de aspiración de 0,5 litros por minuto (figura 1). Luego se dejó enfriar, se extrajo el ácido nítrico, se llevó a pH 5 y se continuó con

la técnica analítica para dosar mercurio.



Figura 1. Dispositivo para capturar vapores de mercurio en lámparas de bajo consumo por rotura causada con percusión.

Para los tubos fluorescentes se aplicó otra maniobra, primero se perforó un zócalo, inmediatamente se colocó un tubo de aspiración para no perder el vapor de mercurio, luego se perforó el zócalo opuesto para permitir el ingreso del aire, enviándolo al frasco lavador con ácido nítrico usando un caudal de 0,5 l/min (figura 2).

Para perforar los zócalos, primero se encintó el tubo en toda su extensión, luego se lo colocó en una cuna de madera y algodón, seguidamente se lo fijó con un cepo de cojinetes, y finalmente se rompió el orificio circular del zócalo en el sitio del electrodo donde ingresa el filamento, mediante un suave golpe de punzón usando un martillo pequeño.



Figura 3. Tren de muestreo para capturar vapores de mercurio en tubos fluorescentes

Luego de estudiar los vapores de mercurio de lámparas y tubos fluorescentes, usando un tren de muestreo similar, se investigó la cantidad de mercurio que satura un volumen conocido de aire contenido dentro de un Kitasato cerrado de 0,5 litro de capacidad, conteniendo 1 gramo de mercurio metálico en su interior durante 20 días en reposo.

3.3 Estudios de lixiviados

Se cargaron 4 columnas de pvc de 1,6 metros de longitud y 65 mm de diámetro, con tierra estratificada conteniendo seis pilas desarmadas y enterradas a 20 cm de la superficie superior. Se aplicó un régimen de lluvias simuladas con agua destilada a razón de 10 mm diarios hasta alcanzar 800 mm anuales, recogiendo los lixiviados diariamente en colectores inferiores con respiradero estrecho para reducir la evaporación.

Se monitorearon el pH, la conductividad y otros parámetros en los percolados, encontrándose inicialmente cantidades apreciables potasio en forma de hidróxido, litio y bario, provenientes de las pilas y baterías alcalinas.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. Mercurio en pilas botón

Se procesaron 27 pilas botón nuevas de diferentes marcas que circulan en el mercado nacional. Las mismas 2 y 4 gramos incluida la carcasa, de los cuales aproximadamente el 50 % del peso estaba constituido por el electrolito, midiéndose valores de mercurio promedio comprendidos entre 30 mg y 75 mg para las pilas pequeñas y grandes respectivamente.



Figura 4. Típica pila botón con carcasa de acero y junta de seguridad

4.2. Valores promedio de mercurio en lámparas de descarga

Se procesaron 30 lámparas de bajo consumo de 15 W y se encontró una media de 40 μgr de vapor de mercurio por cada lámpara en su atmósfera interior, mientras que en los residuos de vidrio y polvo se hallaron 400 μgr de sublimado de mercurio por unidad, es decir un total de 442 μgr o 0,442 miligramos de mercurio por cada lámpara destruida. Luego se trabajó con 12 tubos fluorescentes de 3 fabricantes distintos, encintándolos en forma de espiral en toda su extensión, abriéndoles los zócalos para aspirar sus vapores, obteniéndose un promedio de 60 μgr de vapores de mercurio y 800 μgr de mercurio sólido en el vidrio y polvo (tabla 1).

Artefacto Ensayado	Vapor de Mercurio	Mercurio sublimado en vidrio y polvo	Mercurio total
Lámparas de bajo consumo 15 W	42 μgr	400 μgr	442 μgr
Tubos fluorescentes de 40w.120 cm	60 μgr	800 μgr	860 μgr
Aire saturado con mercurio	< 10 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	-----	-----

Tabla 1. Valores medios de mercurio gaseoso y sólido en lámparas y aire saturado con Hg

Ensayo	Mercurio total en la pasta del electrolito de una pila
Pilas botón de 1 gramo desarmada	30 mg. Poder contaminante: 30.000 litros de agua
Pilas botón de 4 gramos desarmada	75 mg,. Poder contaminante: 75.000 litros de agua
Pila Seca Alcalina de Cinc / Carbón desarmada	120 mg.Poder contaminante:120.000 litros
Água de red saturada con Hg cerivalente	Mercurio disuelto en 7 días : < 10 µgr/l
Água de red saturada con electrolito de una pila botón.	Mercurio disuelto en 7 días : < 10 µgr/l

Tabla 2. Valores medios de mercurio sólido encontrado en la pasta electrolítica de diferentes tamaño de pilas y las concentraciones que se disuelven en agua corriente.

4.3. Lixiviado de columnas con pilas desarmadas y enterradas

La figura 4 muestra la evolución comparativa de los parámetros monitoreados en el tiempo y los rangos de concentración hallados entre el inicio y la meseta. La franja gris central vacía, representa el período natural seco en el cual no hay lluvias. Puede notarse que los primeros parámetros que provocaron una amplia variación de la concentración en los lixiviados, fueron el pH, la conductividad, el potasio y el litio, mostrando un frente de avance rápido a través de la columna de suelo. En cambio los metales pesados, demoraron muchos meses en manifestar trazas en la base de las columnas, debido a la capacidad de captura de estos iones por parte de los componentes coloidales y las arcillas. La gran sorpresa fue la impermeabilización de las columnas provocada por el medio alcalino, lo cual provocó la migración vertical ascendente del cadmio y compuestos minerales del suelo hacia la superficie, provocando manchas blancas en la misma.

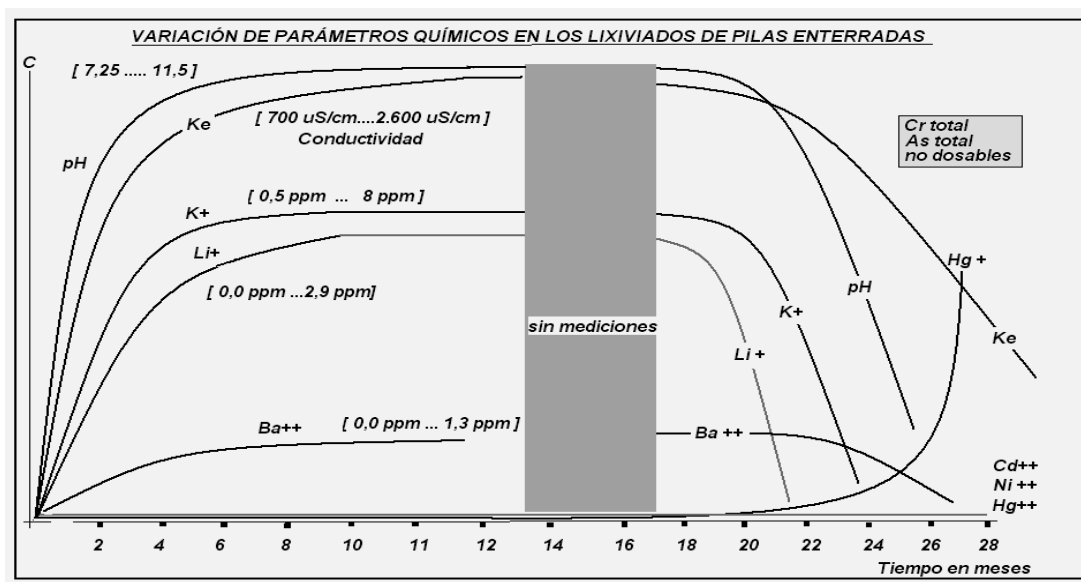


Figura 4. Variación de varios parámetros químicos en los lixiviados de las columnas de suelo conteniendo pilas enterradas y desarmadas, sometidas a lluvias artificiales.

5. ACCIONES A SEGUIR ANTE LA ROTURA DE UNA LÁMPARA

Como resultado de las experiencias realizadas con lámparas y tubos se propone el siguiente protocolo: si accidentalmente se destruye una lámpara de bajo consumo o un tubo fluorescente en una habitación cerrada, tal como un dormitorio de 40 m³ de volumen aéreo; suponiendo que el vapor de mercurio se difundiese uniformemente en el aire, alcanzaría una concentración máxima esperable de 1,5 µgr / m³, siendo la concentración límite de mercurio admisible en ambientes de trabajo de 25 µgr / m³.

Además del vapor de mercurio, tendremos la presencia de astillas de vidrio molido y polvo que contaminarán el ambiente con 400 a 800 µgr de partículas de mercurio en forma de sublimados u óxidos, el cual deberá extraerse preventivamente del lugar.

Primero deberá ventilarse la habitación abriendo puertas y ventanas, luego abandonar la misma por 30 minutos, si hubiera equipos de aire acondicionado o calefacción, se deberán apagar y colocar un ventilador encendido frente a una ventana, expulsando el aire hacia el exterior para sacar el mercurio volátil [1].

Transcurrida media hora, colocarse guantes de látex, levantar con cuidado los fragmentos de vidrio y polvo usando una pala plástica, arrastrarlos con papel de cocina húmedo y colocarlos en una bolsa plástica con cartones protectores para que no corra peligro de romperse.

Si fuera posible se debe humedecer el papel con agua y clara de huevo, en la cual el mercurio se unirá a las proteínas y luego al entrar en putrefacción adoptará la forma insoluble de sulfuro de mercurio, que es menos biodisponible en el medio ambiente. Luego se descartarán

los papeles y los guantes en la misma bolsa; jamás se deben utilizar aspiradoras, ya que el mercurio quedaría adherido en su interior y luego pasará al aire. Si el polvo de la lámpara rota tocó la ropa, sáquela y suméjala en agua y jabón líquido sin mezclarla con otras prendas, si el polvo cayó sobre una alfombra o superficies blandas, puede extraerlo parcialmente usando cinta adhesiva ancha de pintor , haciendo contacto entre el pegamento y el polvo, lo mismo para otras superficies y las plantas del calzado. A medida que el tubo o lámpara que contiene vapor de mercurio se usa, parte del mercurio se va adhiriendo a las paredes interiores, por lo que el mercurio elemental liberado a la atmósfera en el caso de rotura, es menor en un tubo usado que en uno nuevo.

6. CARGA DE MERCURIO EMITIDA AL MEDIO AMBIENTE

El recambio constante de elementos electrónicos genera grandes cantidades de residuos potencialmente peligrosos. Según un informe reciente de la UNU-IAS , América Latina generó en el año 2014 unas 3,9 millones de toneladas de estos elementos y constituye el 9% de los generados a nivel mundial. La Argentina está en el tercer lugar, después de Brasil y México, con una generación de 292.000 toneladas. Esto significa 6,9 kg por habitante, superior a la media de Latinoamérica de 6,6 kg/habitante y la media mundial de 5,6 kg/habitante. Se estima que en la Argentina cada habitante desecha por año 6,3 pilas botón, 4 lámparas de bajo consumo y 2 tubos fluorescentes. Con estos datos y considerando que la mayor parte de esos residuos terminan en un basural, se pueden calcular las siguientes cantidades de mercurio emitidas al medio ambiente:

Elemento generador	Carga anual de Mercurio desechado en Argentina
Pilas botón	14.400 Kg
Lámpara de bajo consumo	7.800 Kg
Tubos fluorescentes	15.200 Kg
Subtotal de estos 3 elementos	37.400 Kg

Tabla 3. Carga de mercurio aportada anualmente por habitantes de Argentina en concepto de pilas botón y lámparas de descarga de uso doméstico.

Esto significa una carga de mercurio de 37.400 Kg, sin contemplar otras fuentes emisoras de mercurio tales como baterías de celulares, luminarias públicas, etc. Considerando que la concentración límite para mercurio en agua es de 0,001 mg/l, tan solo las lámparas de descarga hogareñas y las pilas botón, contaminarían 37,4 millones de litros de aguas naturales.

7. ALGUNOS ESTUDIOS SIMILARES

Trabajos realizados en Colombia [8], proponen la disposición final de pilas y luminarias que contengan mercurio, en rellenos sanitarios de seguridad totalmente impermeabilizados y aislados, con lixiviados independientes del resto para ser tratados en forma especial, además sugieren en el encapsulado de las pilas y baterías antes de su disposición final.

Un estudio realizado en la Universidad de Santiago de Chile y la fundación CENMA en (2010) [9] realiza análisis de metales pesados semejantes a los mostrados por el presente artículo, aunque utiliza la absorción atómica en vez de los métodos colorimétricos extractivos que se aplicaron en este artículo.

El sitio web de la organización mundial de la salud [11], plantea una preocupante tasa de aumento de la carga de morbilidad ambiental causada por los desechos de las nuevas tecnologías. También señala el aumento creciente del consumo y descarte de pilas y baterías, lo cual constituye un grave problema para las autoridades sanitarias y ambientales.

La serie de publicaciones Carga de Morbilidad Ambiental (EBD), prosigue esta labor orientada a generar información fiable y a tal fin presenta métodos para evaluar la carga ambiental de mercurio a escala nacional y local.

Los métodos propuestos en la serie utilizan el marco general para las evaluaciones mundiales que se describen en el Informe sobre la Salud en el Mundo (OMS, 2012). El volumen introductorio de la misma describe el método general, y las guías que le siguen abordan factores de riesgo ambientales concretos.

En Bolivia no existe una infraestructura que permita reciclar luminarias de bajo consumo, pero se realizó un diseño de un equipo triturador [12] que interviene en la primera parte del reciclaje de estos artículos (trituración, separación, y confinamiento del vapor de mercurio), el prototipo puede retener partículas inferiores a 3 micrones y evita que los vapores de mercurio escapen hacia el medio ambiente pudiendo recuperarlo, antes de que estas lámparas lleguen al lugar de disposición final. La población, debe conocer sobre el tratamiento que siguen las lámparas fluorescentes en desuso, para minimizar el peligro de emanaciones de vapor de mercurio en el ambiente.

No se encontró algún estudio cinético de seguimiento de parámetros en lixiviados de columnas artificiales conteniendo pilas desarmadas o en estado de corrosión avanzada.

8. CONCLUSIONES

En los ensayos destructivos de lámparas de descarga se encontraron cantidades de mercurio mayores en el polvo y los fragmentos de vidrio que en la atmósfera interna, y los valores fueron algo menores a los citados por las referencias. En el caso de rotura o descarte de estos elementos, no hay que subestimar el riesgo de exposición y tomar las recomendaciones a seguir en el protocolo que se sugiere en este artículo. El mercurio de las pilas, al encontrarse bajo la forma de amalgama, no se libera fácilmente en los extractos acuosos neutros o ligeramente alcalinos, en cambio si se disuelve rápidamente en ácidos oxidantes. El impacto más inmediato encontrado en los percolados de las columnas conteniendo pilas, fue un brusco ascenso del pH y la conductividad, causado por las pilas alcalinas. Se encontraron vestigios de cadmio que migraba hacia la superficie de las columnas de lixiviación donde estaban

enterradas las pilas; la presencia hidróxido de potasio de las pilas alcalinas, provocó a lo largo del tiempo una pérdida de permeabilidad de los suelos de las columnas, asociada a una disminución en la velocidad de filtración, lo cual es posible que haya sido la causa de la migración vertical ascendente del cadmio al no poder percolar hacia abajo. El primer hallazgo relevante sucedió a los 24 meses de simular lluvias, y fue la aparición en la base de la segunda columna de un frente de mercurio monovalente, el menos tóxico de los dos estados de oxidación. Se observa una gran capacidad de absorción y retardo de la percolación por parte del suelo, ya que la presencia de arcillas ofrece una elevada captura de iones de metales pesados. Con los datos obtenidos se calcula que la Argentina desecha 37.400 Kg de mercurio, tan solo por el uso doméstico de pilas botón y lámparas de descarga.

REFERENCIAS

- [1] www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/es/mercurio/proyecto/preguntas-frecuentes/al/ Amigos de la Tierra, “Citizen Guide to Municipal Landfills”, (1996).
- [2] www.ambiente-ecologico.com/ediciones/068-03-2000/068-alfredomarcipar.html
- [3] Mercury Response Guidebook, guía para limpieza, almacenamiento temporal o intermedio y transporte de desechos de mercurio desde las instalaciones de salud, Maine compact fluorescent lamp study, Canadá, (2.010).
- [4] www.alihuen.org.ar/informacion-general/residuos-peligrosos-generados-en-nuestras-casas.html
- [5] www.inti.gov.ar/sabercomo/inti-0104/inti2.htm
- [6] Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas de desecho 19 Ed. APHA – AWWA – WPCF Editorial Panamericana México DF
- [7] Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Método 3500-Hg C. Método de la ditizona. APHA, AWWA, WPCF. Ediciones Díaz de Santos S.Norma Mexicana NMX-AA-064.
- [8] www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas/mercurio/3.htm. (2013)
- [9] Serey I. “Evaluación de la toxicidad de pilas comercializadas en el país y su impacto potencial en lixiviados de rellenos sanitarios.” Informe Final Proyecto Priorizado 4.2.4. Centro Nacional del Medio Ambiente, Universidad de Santiago de Chile-Fundación CENMA. (2010)
- [10] www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/7/informe-gestion-pilas-baterias.pdf-(2010).
- [11] Mercurio Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local Jessie Poulin Herman Gibb - Serie Carga de Morbilidad Ambiental, N° 16 Salud Pública y Medio Ambiente Ginebra OMS, (2008)
- [12] www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php. Díaz Chimin M. Revista Tecnológica ISSN 1729-7532 La Paz, Triturador de tubos y lámparas fluorescentes en desuso, (2016).