

UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS**

**Opciones para la Disposición Final de Residuos de Mercurio
en Hospitales de Hermosillo, Sonora**



TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

QUÍMICO BIÓLOGO

Especialidad Tecnología de Alimentos

Presenta:

Yahayra Zulema Estrella Avitia

Hermosillo, Sonora

Mayo de 2013

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

FORMA DE APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Yahayra Zulema Estrella Avitia, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el título de Químico-Biólogo Especialidad Tecnología de Alimentos.

Comité de Tesis

Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez
Presidente

M. en C. Ma. Engracia Arce Corrales
Secretario

Dra. Mabeth Burgos Hernández
Vocal

M. en C. Socorro Herrera Carbajal
Suplente

DEDICATORIA

Indiscutiblemente este trabajo que realice con muchísimo cariño, lo dedico en dos partes.

A mis padres y mis hermanas porque también es resultado del esfuerzo que ustedes realizaron al apoyarme para que terminara mi carrera, y este trabajo, es tanto mío como de ustedes siempre he reconocido su apoyo incondicional, de verdad mis respetos, solo espero contar con la oportunidad de poder retribuirles de la mejor manera posible su apoyo tanto para mí como para mis duvalines. Poder culminar este trabajo y compartir esta experiencia con ustedes que son mi familia y las personas que más amo y siempre han estado ahí es algo que también merecían ustedes.

A mis Duvalines: Samara & Robert Adriel gracias mis amores por llegar a mi vida, por mostrarme las cosas más hermosas y más importantes, por ser mis únicas motivaciones en la vida, por exigirme que me levante y siga adelante y luche por ustedes y con ustedes.



Dios no pone pruebas a quien no podrá superarlas. Su presencia en mi vida es lo mejor que me pudo haber pasado, las cosas pasan y suceden cómo y cuándo deben de ser. Dios me permita salud y vida para verlos crecer y disfrutar a su lado la realización de sus sueños, viene lo mejor.

AGRADECIMIENTOS

Con una enorme alegría en primer lugar agradecer a Dios por mostrarme en todo momento las cosas más valiosas en la vida, por darme la salud y el tiempo para ver concluido este trabajo, por ponerme las pruebas necesarias para seguir enfrentando la vida y en el mejor de los casos por ponerme siempre en el lugar y momento indicado. ¡**Gracias por lo que soy!**

Gracias también a la Universidad de Sonora por permitirme formar parte de su historia, por considerarme digna de su grandeza, por la oportunidad de obtener las herramientas para poder aspirar a ser alguien en la vida.

Con una gran emoción agradecer al Departamento de Ciencias Químico- Biológicas mi “segunda casa” durante mucho tiempo, A todos los maestros o doctores que me compartieron lo mucho o poco de su conocimiento, gracias a todas las personas que tuvieron una sonrisa o apoyo hacia mi persona durante el tiempo que curse mi carrera.

Especialmente Gerardo Ruiz, gracias por su amistad, apoyo, por lo que he aprendido de usted, gracias por los momentos de convivencia que conservo con mucho cariño. Isabel Meneses tan linda gracias por aguantarme ahí de latosa jaja.

De forma muy especial a mi directora de tesis: Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez, gracias maestra por permitirme aprender de usted, por abrirme un espacio, por creer en mí, por haberme enseñado mucho más de lo que yo esperaba. Pero más que nada gracias por haberme permitido participar en un proyecto que me dejó demasiado tanto personal como intelectualmente. Gracias por el tiempo compartido, las experiencias y el apoyo. Las palabras se quedan cortas al intentar expresar mi sentimiento y agradecimiento.

A mi comité de tesis: M. en C. Socorro Herrera, M. en C. Mary Arce y la Dra. Mabeth Burgos Hernández, gracias por permitirme aprender de ustedes, por su tiempo y su apoyo.

Gracias también a todas esas personas tan maravillosas que se cruzaron en mi camino durante mi carrera, **Mis Amigoooooss!!** Créanme todos han aportado algo a la persona que ahora soy y por eso muchas gracias. Dios nos permita salud y vida para seguir aprendiendo de ustedes, me los cuide y bendiga siempre, ¡los quiero mucho!

CONTENIDO

FORMA DE APROBACIÓN	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE CUADROS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
OBJETIVOS	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
ANTECEDENTES.....	13
El Mercurio en la Historia	13
El mercurio en la Naturaleza	14
Mercurio en el Sector Salud	15
Esfuerzos a Nivel Internacional y Nacional para la Eliminación del Mercurio en el Sector Salud	17
Métodos de Disposición de Residuos de Mercurio	19
Estabilización con azufre	19
Estabilización con un polímero de azufre más solidificación (SPSS)	20
Amalgamación.....	20
Fosfato cerámico químicamente enlazado (CBPC).....	21
Técnicas de encapsulación sin pre-estabilización.....	21
Encapsulación con pre-estabilización	22
Investigaciones No Comerciales Sobre Procesos de Estabilización y Solidificación del Mercurio	22
METODOLOGÍA.....	24

Visita de campo a los Hospitales.....	25
Entrevistas a Dependencias de Gobierno Involucradas en el Manejo del Mercurio en Hospitales	25
Investigación/ Entrevista a las Empresas que Manejan Residuos de Mercurio	25
Asesoría por Expertos en el Programa de Retiro de Mercurio en Hospitales.....	27
Análisis de las Opciones Existentes	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
Visita de campo a los Hospitales.....	30
Entrevista a las Dependencias de Gobierno Involucradas en el Manejo del Mercurio en Hospitales	31
Opciones para la Disposición Final de los Residuos de Mercurio.....	34
Análisis de las Opciones para la Disposición Final de los Residuos de Mercurio Hospitalario en el Estado de Sonora.....	35
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS	38

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Entrevista para las dependencias de gobierno ligadas al manejo de mercurio.....	25
2	Entrevista para las empresas que manejan residuos de mercurio.....	26
3	Criterio de la Organización para la cooperación y el desarrollo económico para evaluar el manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos.....	28
4	Dependencias de gobierno ligadas al manejo de residuos peligrosos.....	31
5	Empresas que manejan residuos peligrosos en México.....	33
6	Criterios y evaluación de las empresas que manejan residuos de Mercurio.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ciclo de vida del mercurio en el ambiente y su interacción con los seres vivos y ecosistemas... Casarett and Doull, 2007.....	15

|

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar las alternativas disponibles para la disposición final de los residuos de Hg almacenados en hospitales de Sonora, considerando aspectos ambientales y técnicos.

Objetivos Específicos

- Identificar las fuentes de Hg presentes en dos hospitales piloto de Hermosillo, Sonora.
- Investigar las funciones de las dependencias de gobierno que intervienen de manera directa e indirecta en el ciclo de vida del mercurio presente en los hospitales y principalmente en la etapa de administración de los residuos de mercurio.
- Identificar la mejor opción para la disposición final de residuos hospitalarios de Hg en Sonora.

RESUMEN

A través del tiempo se ha consolidado como un contaminante prioritario por sus características de persistencia, bioacumulación, toxicidad y sus efectos adversos a la salud humana y a los ecosistemas. Debido a sus propiedades físicas y químicas únicas es utilizado en diversos equipos de medición de presión y temperatura, algunos de ellos presentes en servicios de atención a la salud. Aun y cuando no existe tecnología disponible que garantice la disposición segura de residuos de mercurio a largo plazo, la combinación de dos métodos de disposición como la solidificación y la encapsulación es actualmente la tecnología más aplicada a los residuos de mercurio líquido. Dentro de los hospitales es común encontrar diversas fuentes de mercurio entre los que se incluyen termómetros, presurómetros, lámparas fluorescentes, restos de amalgamas; entre otros, así como también residuos almacenados de los mismos. Durante la realización de este trabajo se llevaron a cabo visitas de campo donde se identificaron las fuentes de mercurio presente en hospitales de Hermosillo, Sonora y conocer un poco más acerca de la gestión de los mismos. Se entrevistaron a dependencias de gobierno ligadas al manejo de mercurio para investigar acerca de la legislación y el correcto manejo de los residuos de mercurio proveniente de los hospitales, se consultaron a las empresas que prestan servicio de manejo de residuos peligroso y la manera en que prestan sus servicios cada una de ellas. En Hermosillo, Sonora existen tres empresas que prestan servicio de manejo de residuos de mercurio; solo una de ellas ofrece un servicio económico, técnicamente factible y reduciendo riesgos a la salud y al ambiente para la disposición final de los residuos de mercurio proveniente de los hospitales.

INTRODUCCIÓN

El mercurio es el único metal líquido a temperatura ambiente y es utilizado en un gran número de productos y procesos que aprovechan sus singulares características. Debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, el mercurio es una sustancia altamente tóxica a los seres vivos y a los ecosistemas (OMS, 2005). Es una sustancia química, persistente, bioacumulable y tóxica (PBT) por lo cual es considerado un contaminante prioritario (Harvie y Karliner, 2008).

A la fecha ha sido protagonista de grandes catástrofes donde en ocasiones ha llegado a causar grandes daños tanto a la humanidad como a los ecosistemas, motivo por el cual se ha convertido en razón para varias organizaciones a nivel mundial que se han dado a la tarea de reducirlo y/o si es posible eliminarlo de la cadena de producción del ser humano, para poder reducir los potenciales efectos adversos a los seres vivos y el ecosistema.

A nivel mundial el sector salud es un importante consumidor de mercurio y de productos que lo contienen, (termómetros, esfigmomanómetros y otros aparatos, así como su uso en amalgamas dentales) que al final de su vida útil se convierten en residuos tóxicos (SEMARNAT, 2010).

La alta toxicidad del mercurio lo convierte en un desecho peligroso altamente regulado, los métodos de disposición final encarecen su correcta gestión. Es necesario que los hospitales o industrias en donde se utilicen instrumentos con mercurio sean manejados mediante una política de gestión de mercurio y que cuenten con un plan de respuesta ante posibles vertidos o derrames para casos de emergencia. En los países desarrollados los gastos asociados con éstos vertidos implican miles de euros anuales. Es importante contar con normatividad actualizada para el correcto manejo de desechos contaminados con mercurio, de lo contrario se caería en el error de tratarlos como residuos peligrosos cuyo método de eliminación es la incineración (Ortega y cols., 2003)

Las tecnologías aplicadas a los residuos de mercurio líquido más usadas emplean la combinación de dos métodos de disposición final, primeramente un método de estabilización en el que mundialmente es recomendado el amalgamado del mercurio líquido; y posteriormente la encapsulación del mercurio estabilizado.

Aún y con toda la tecnología disponible actualmente no existe alguna que asegure la disposición final a largo plazo evitando riesgos potenciales a la salud y al ambiente derivados de la lixiviación del mercurio líquido (US EPA 1999, por SBC, 2010).

Los resultados del proyecto asistencia técnica para la reducción de mercurio en hospitales de Sonora, revelaron el tipo de instrumentos de mercurio, tipo de residuos de los mismos en hospitales de Sonora y la necesidad de elaborar e implementar un plan de manejo para ellos (Moreno, 2010; Loustaunau, 2012). Durante la realización de este trabajo se realizaron visitas de campo a dos hospitales piloto de Hermosillo, Sonora para identificar las fuentes de mercurio presentes. Las dependencias entrevistadas durante la realización de este trabajo fueron la Procuraduría federal de protección al ambiente (PROFEPA), la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT), Secretaría del trabajo y previsión social (STPS), así como también la Comisión ecológica y desarrollo sustentable del estado de sonora (CEDES). Durante las entrevistas realizadas a las dependencias de gobierno que tiene competencia en el manejo de residuos de mercurio en los hospitales no fue posible concertar la cita con la Secretaría de salud pública, así como tampoco con la Secretaría de comunicaciones y transportes. A través de una consulta a la base de datos electrónica de SEMARNAT se investigaron las empresas que prestan el servicio de manejo de residuos peligrosos y que pudieran encargarse de los residuos de mercurio. Mediante el apoyo de la utilización de los criterios de la OCDE para la evaluación de las empresas y el manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos se obtuvo como resultado la empresa que representa la mejor opción de disposición final de residuos de mercurio para los hospitales (OECD, 2007).

Los hospitales de Hermosillo, Sonora cuentan con la opción de una empresa que presta el servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos de mercurio, empleando el manejo técnico, ambientalmente adecuado, económico y reduciendo los potenciales riesgos adversos a la salud y al ambiente.

Dicha empresa resultó con una evaluación más favorable según el criterio de la OCDE, aun y en espera el sector salud tendrá que considerar recursos para solventar su disposición final. Esta empresa es la que ofrece el servicio más completo, cuenta con la infraestructura suficiente para manejar cualquier residuo de mercurio y proporciona el manejo más sustentable para favorecer la reducción de los potenciales riesgos adversos a la salud y al ambiente.

ANTECEDENTES

El Mercurio en la Historia

El mercurio es un elemento existente de forma natural en nuestro planeta, desde tiempos de antes de Cristo ha sido utilizado en un sin número de prácticas, oficios, productos y procesos. Ha sido utilizado como pigmento rojo para ilustrar textos, en la fabricación de terciopelo, en tratamientos contra enfermedades como la sífilis y hasta en prácticas religiosas en diversas partes del mundo. La tercera parte del mercurio utilizado por la humanidad ha sido extraído de Almadén, España (Jiménez, 2005).

Los efectos nocivos a la salud han sido conocidos desde el tiempo de los romanos, quienes sufrían intoxicaciones al trabajar en las minas. Sus efectos fueron mundialmente reconocidos una vez que se presentó la contaminación en la bahía de Minamata, donde se observaban gatos que parecían sufrir trastornos de locura, posteriormente los habitantes empezaron a presentar síntomas similares y se comenzaron a presentar casos de recién nacidos con malformaciones. Después de investigar concluyeron que la causa era el consumo de peces contaminados con metilmercurio. Esta tragedia fue provocada por los desechos de mercurio que se vertía en la bahía una fábrica que producía cloruro de vinilo (Jiménez, 2005).

En Iraq en 1960 varias personas sufrieron intoxicación al consumir pan elaborado con semillas que estuvieron expuestas a un fungicida que contenía mercurio (Aposhian y Col. 1995).

En Perú en el 2000 se presentó un accidente donde volcó un camión que transportaba alrededor de 150 Kg de mercurio elemental procedente de las minas de la región, más de mil campesinos sufren los efectos de la intoxicación por mercurio y la mayoría se trata de niños y niñas de 5 años de edad (Arana, 2009).

La toxicidad del mercurio varía dependiendo de su forma química y el grado de exposición a éste, pudiendo causar afecciones tales como: vómito, diarrea, dificultad respiratoria, ardor de estómago y garganta, insuficiencia renal, problemas de memoria; durante la gestación, puede ocasionar daño permanente al cerebro en desarrollo ya que este elemento traspasa con facilidad la barrera placentaria y barrera hematoencefálica. Además, en altas concentraciones puede provocar daño pulmonar, cerebral y muerte (Cofepris, 2011).

El mercurio es un potente neurotóxico, esto significa que daña el sistema nervioso central. Es una sustancia química, persistente, bioacumulable y tóxica (PBT) por lo cual es considerado un contaminante prioritario (Harvie y Karliner, 2008).

El mercurio en la Naturaleza

Existen diferentes vías por medio de las cuáles el mercurio se transporta en el medio ambiente y se agrupan de las siguientes maneras (Etzel y Balk, 1999; Clarkson, 1993; OMS, 1989; US-EPA, 1997):

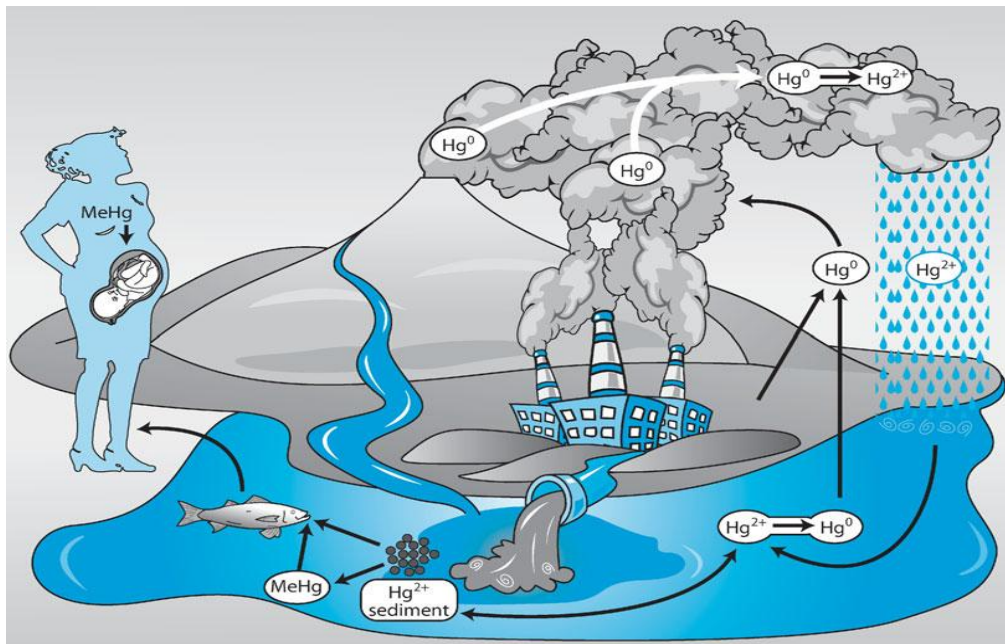
1. Emisiones naturales: erupciones volcánicas, a través de los movimientos de rocas.
2. Emisiones antropogénicas: combustión de combustibles fósiles, procesos de incineración, cementeras, industrias cloroalcalinas, minería, etc.
3. Depósitos creados por las emisiones naturales y antropogénicas, que nuevamente se evaporan pasando a la atmósfera e introduciéndose en los ciclos biológicos. Debido a su persistencia y volatilidad el mercurio puede transportarse a grandes distancias antes de su depósito terrestre o acuático, principalmente por la lluvia y otros fenómenos meteorológicos. Las centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles y la incineración de residuos (por ejemplo: municipales y derivados de actividades sanitarias) representan más del 85% de las emisiones de mercurio antropogénicas (US-EPA, 1997; ATSDR, 1999; Bender y Williams, 1999).

Durante el proceso de incineración algunas partículas de mercurio elemental se adhieren a las cenizas y se depositan en tierra sin llegar a largas distancias, pero la mayor parte de éste mercurio se evapora y permanece en la atmósfera, en ocasiones hasta un año, donde reacciona con el ozono y otros oxidantes para formar compuestos iónicos, sumamente solubles, que vuelven el mercurio a la tierra o el agua con la lluvia o la nieve (Ortega y Col. 2001).

En los cuerpos de agua donde el mercurio se deposita se encuentran bacterias metanogénicas, éstas mediante el proceso de metilación, añaden un átomo de carbono y lo transforman en metilmercurio(MeHg). Este fenómeno es de gran transcendencia para determinar su toxicidad medioambiental, pues el átomo adicional cambia las propiedades del MeHg, transformándolo en fácilmente acumulable en la cadena trófica del reino animal y también en la forma más tóxica de los compuestos de mercurio (Siciliano y Col., 2002). El MeHg se dispersa rápidamente y se une a las proteínas de las algas, plancton y otros

microorganismos inferiores. Mediante los procesos de biomagnificación y bioacumulación, las concentraciones en los peces situados en la zona superior de la cadena alimentaria acuática superan en un millón de veces los niveles presentes en el agua. Esta elevada concentración ha hecho que más de cuarenta estados en EEUU y Suecia limiten a la población el consumo de algunos pescados (González y col., 2002; Tarras-Wahlberg y Col., 2001; Boening, 2000; Cizdziel y Col., 2002).

A continuación en la Figura 1 se muestra el ciclo del mercurio en el ambiente y su interacción con los seres vivos y los ecosistemas.



Fuente: Casarett and Doull, 2007

Mercurio en el Sector Salud

A través de los años las propiedades químicas del mercurio han sido aprovechadas en el desarrollo de equipos, dispositivos y/o procesos de manera muy amplia en la industria y en la

medicina (Morales y Reyes, 2003). El mercurio metálico tiene un volumen de expansión uniforme en su estado líquido y una alta tensión superficial, por lo tanto, se utiliza en barómetros, manómetros, termómetros y otros dispositivos de medición. También se utiliza ampliamente en aplicaciones eléctricas, incluyendo las baterías, lámparas eléctricas, y el cableado y los dispositivos de conmutación. Su baja resistencia eléctrica hace que sea uno de los mejores conductores eléctricos entre los metales (EPA, 2007).

El mercurio y sus compuestos han sido utilizados por la medicina desde hace muchísimos años, aliviando desde malestares como dolores abdominales y estreñimiento hasta servir de tratamiento en enfermedades como la sífilis (Ortega y Col., 2003).

El mercurio se encuentra presente en los hospitales y centros de asistencia médica en diversos equipos y dispositivos (termómetros, esfigmomanómetros, dilatadores esofágicos, tubos de Miller-Abbott, pilas y baterías, lámparas fluorescentes, etc.). También se puede encontrar en una gran variedad de sustancias químicas y mayormente en el área de servicios odontológicos. Durante las largas jornadas laborales ocurren accidentes donde éstos productos, al romperse o eliminarse incorrectamente, suponen un riesgo significativo para la salud humana y el medioambiente (Goldman y Shannon, 2001; Shaner, 2002; Ortega y Col., 2002)

El tracto respiratorio es una de las vías en donde el vapor de mercurio es absorbido con mayor rapidez en un 80-90% llegando hasta los alvéolos y posteriormente al torrente sanguíneo (Echeverría, 1998; OMS, 1991).

El sector salud es una de los principales contaminantes a nivel mundial existe 50 veces más mercurio en los residuos médicos que en los municipales. Según datos de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés), la incineración de residuos médicos ocupa el cuarto lugar entre los principales contaminantes medioambientales de mercurio (USEPA, 1997). La contaminación puede presentarse también al verter los residuos de productos que contienen mercurio en el drenaje municipal (temasmercurio, 2011).

Varios autores afirman que el riesgo ocupacional durante la exposición al mercurio en los servicios odontológicos depende de la actualización de las técnicas durante la preparación de la amalgama, aseguran que la implementación de las prácticas modernas que cumplen con las normas para el manejo de sustancias peligrosas podría minimizar estos riesgos (Bagedahl-

Strindlund, 1997; Bergdahl y Col. 1998; Bjorkman y Lind 1992, -Echeverría y Col.1998; Foo y Col. 1993; Langworth y Col. 1997).

Estudios realizados en dos hospitales presentaron resultados acerca de las tasas de ruptura de termómetros en diferentes intervalos de tiempo, en la ciudad de México, el hospital de niños “Federico Gómez” documentó 385 termómetros por mes, o bien más de 4.000 anuales; el número total estimado de termómetros rotos en este hospital en particular, entre 2002 y principios de 2007, es de casi 22.000 equivalentes a 22 Kg. de Hg (Karlner & Harvie, 2007). Así mismo en el Estado de Sonora, el Hospital General del Estado “Dr. Ernesto Ramos Bours” documentó una tasa de 731 termómetros rotos en un periodo de 9 meses (Burgos, 2008).

En cualquier área de un hospital común los termómetros son uno de los insumos más utilizados. Un termómetro contiene entre 0,75 g y 1 g de mercurio; su ruptura o su disposición final incorrecta (por el desagüe, o la basura común) son las principales fuentes de contaminación ambiental (Zarlenga y Col., 2006).

Eliminando correctamente el Hg, los hospitales protegen a sus trabajadores, mejoran la salud pública comunitaria y demuestran a los ciudadanos su compromiso firme y coherente por una asistencia sanitaria integral más saludable (Ortega y Col., 2001).

Esfuerzos a Nivel Internacional y Nacional para la Eliminación del Mercurio en el Sector Salud

El presente trabajo de investigación pertenece al esfuerzo que realiza actualmente en los hospitales del Estado de Sonora la Universidad Estatal de Sonora (UES), Secretaria de Salud (SS) y Universidad de Sonora (UNISON) a través del proyecto titulado “*Seguimiento de la Implementación de Programas de Eliminación de Mercurio en Hospitales del Estado de Sonora*” mismo que se encuentra operando y financiado actualmente por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) (Burgos y col, 2013).

Los resultados de este proyecto que se encuentran en reportes técnicos muestran inventarios de insumos con mercurio de once hospitales públicos, identificación de fortalezas y debilidades del sistema de administración de estos insumos y manuales y planes de manejo de residuos de mercurio (Burgos y col, 2013).

En estudios realizados en hospitales de Hermosillo, Sonora se han encontrado diversos instrumentos que están en uso y que contienen mercurio (Quinn y col. 2010)

En base a un estudio realizado por Moreno en 2010 en el hospital General del Estado es necesaria la implementación de procedimientos para controlar la disposición final de estos residuos, así como también es necesaria un área claramente señalada para almacenarlos. Esto para poder evitar que los residuos sean depositados en los contenedores de basura común o bien, que sean arrojados en las tuberías de drenaje y poder evitar la potencial contaminación a la salud y al ambiente.

Actualmente existen varias instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA), Salud sin Daño (SSD), Universidad de Massachusetts Lowell (UMass-Lowell), Universidad de Minnesota, por mencionar algunas que cuentan con políticas, metodologías e instrumentos que pueden ayudar a los hospitales a eliminar el Hg de sus instalaciones.

Por lo tanto, Actualmente desde la perspectiva internacional, México ha firmado acuerdos con tres iniciativas dedicadas a reducir el uso y las liberaciones de mercurio:

- El Plan de Acción Regional de América del Norte (PARAN) de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA)
- *La Decisión 25/5: Gestión de los productos químicos, incluido el mercurio*, de febrero de 2009, del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
- El esquema de trabajo para El Mercurio en el Sector de la Salud, propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS)

En México los esfuerzos destinados a la reducción del Hg proveniente del sector salud han sido publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el Plan de Manejo Integral para el retiro de mercurio y residuos que lo contienen en el sector salud en Mayo de 2010. (SEMARNAT, 2010)

Métodos de Disposición de Residuos de Mercurio

Las propiedades elementales del mercurio representan un desafío para su manejo y disposición a largo plazo. Es difícilmente detectado en ensayos de lixiviación a corto plazo debido a su baja solubilidad (0,0056 mg/L a 25C Índice MERCK) y altamente volátil a temperatura ambiente por su alta presión de vapor (Oestreich y Col., abril 2010).

A pesar de las altas tecnologías que existen hoy en día ninguno de los tratamientos que se le aplican al mercurio son considerados 100% efectivos para el almacenamiento seguro a largo plazo; entre los más comunes se encuentra la estabilización y solidificación. Una técnica de estabilización es la que reduce químicamente el potencial contaminante de un residuo, haciéndolo menos soluble, tóxico o móvil; en la mayoría de los casos sin alterar la naturaleza del mismo. En algunos procesos de estabilización del mercurio metálico se utiliza el azufre como sustancia estabilizadora, aunque, existen otras (por ejemplo: sodio, potasio) con las cuales el mercurio se puede mezclar y con las que reacciona químicamente para formar un compuesto menos soluble, tóxico o volátil (US EPA 1999, por SBC, 2010).

Dentro de las técnicas que se incluyen en la encapsulación de los residuos se utiliza la solidificación, donde el resultado es un material sólido. En este proceso no necesariamente se tiene que dar una interacción química entre los contaminantes y los aditivos solidificantes, estos solamente los hacen menos disponibles. El producto de la solidificación puede ser cualquier forma física considerada sólida desde un bloque monolítico hasta un material granular (US-EPA1999, UNEP 2010). El mercurio puede ser incorporado en matrices sólidas sin que éste forme nuevos compuestos de mercurio por reacciones químicas (SBC, 2010).

Estabilización con azufre

La forma más estable del mercurio es el sulfuro mercúrico el cual se extrae del mineral cinabrio comúnmente encontrado en la naturaleza. Las investigaciones de hoy en día van encaminadas a encontrar la manera de poder disponer de tecnologías que permitan que el mercurio metálico pueda volver a su estado natural. El sulfuro de mercurio puede producirse de dos formas: primero, la sal roja alfa-HgS y la sal negra beta-HgS, ligeramente más soluble que la primera (Oestreich y Col., abril 2010).

Estabilización con un polímero de azufre más solidificación (SPSS) (Oestreich y Col., abril 2010)

Esta técnica en parte es parecida a la estabilización con azufre que se mencionó anteriormente, solo que para mejorar el resultado se utiliza en conjunto con otros materiales que han sido modificados. El azufre (95% en peso) es utilizado en una mezcla junto con un polímero de cemento y azufre (SPC) (5% en peso). Durante la realización de la técnica los compuestos de azufre son mezclados con el mercurio en dos etapas consecutivas y calentados a una temperatura de aproximadamente 135°C obteniendo un producto líquido. Este se vierte en moldes elegidos de manera arbitraria hasta endurecer considerando las limitantes del proceso de enfriamiento.

El producto resultante contiene cerca de 33% en peso de mercurio y un bajo coeficiente superficie/volumen, con lo que se reducen los riesgos de una posible lixiviación. Los resultados de presión de vapor y lixiviación del producto final son comparables a los productos de la estabilización con sulfuro.

La ventaja de la técnica de estabilización y solidificación con polímero de azufre (SPSS) es obtener un producto monolítico que puede ser manipulado para fines prácticos de almacenamiento que al mismo tiempo presenta un área de superficie menor que el producto obtenido en la técnica mencionada anteriormente.

Amalgamación (Oestreich y Col., abril 2010).

La amalgamación es la técnica mayormente utilizada para inmovilizar el mercurio elemental por disolución de mercurio en otro metal, hasta formar una aleación semisólida conocida como amalgama. Aún y cuando el mercurio no está disponible puede ocurrir volatilización de mercurio de la amalgama, por lo que como proceso posterior se realiza una encapsulación como segunda barrera.

Para realizar esta técnica se mezclan el mercurio elemental y un polvo fino de metal como zinc, níquel, estaño o cobre siendo este último el más recomendado. Para la formación de la amalgama una proporción de mercurio en relación al polvo del metal de 1:1 podría funcionar pero en la práctica se ha recomendado que sea de 1:3, lo que resulta en un aumento del peso del producto cerca de 400% en peso. Con la encapsulación se pueden reducir las presiones de vapor y la lixiviación que se pueden presentar con la amalgamación.

La amalgama en relación a los procesos de estabilización presenta un bajo desempeño, y resulta un proceso costoso por el agregado de grandes cantidades de metal puro y los costos de disposición final. Por otro lado, La USEPA declara que mejor tecnología disponible demostrada para el tratamiento del mercurio elemental líquido contaminado con metales radioactivos es la amalgamación (BDAT). (US-EPA, 2007a).

Una variación del proceso de amalgamación es empleando selenio, un semi-metal. Este reacciona con el mercurio elemental durante la fase de vapor a temperaturas superiores a los 580°C (superior a la temperatura de ebullición del mercurio elemental). La adición de selenio 5:1 con relación al mercurio resulta muy costoso, aun y cuando el producto tiene un buen comportamiento de lixiviación.

Fosfato cerámico químicamente enlazado (CBPC) (Oestreich y Col., abril 2010)

Este proceso de estabilización consiste en dos reacciones: un enlace químico con el mercurio elemental y un micro-encapsulación en una matriz. Ambas reacciones ocurren al mismo tiempo.

En una reacción el mercurio elemental se une al fosfato. En la segunda reacción, se forma la matriz cerámica en la que son micro-encapsulados los compuestos de mercurio.

La técnica puede ser mejorada realizando una estabilización previa, formando HgS, esto se logra adicionando cantidades pequeñas de sulfuro de sodio (Na_2S) o de potasio (K_2S). Esta es una razón por la cual este proceso seguido de una encapsulación puede ser comparable a la técnica del azufre. Una desventaja de los productos del fosfato de mercurio es que los valores de lixiviación son bastante altos, por lo que se puede esperar una reacción incompleta y/o la presencia de impurezas. Esta técnica es mejor manejada con los residuos de mercurio, aún no se han obtenido resultados favorables al tratar el mercurio elemental.

Técnicas de encapsulación sin pre-estabilización (Oestreich y Col., abril 2010).

Existen muchas técnicas para la encapsulación de residuos que están establecidas y reconocidas en el mercado y que emplean un sin número de diversos materiales utilizados como matrices (por ejemplo: cemento, asfalto, escoria de horno de fundición; entre otros). La encapsulación de los residuos de mercurio líquido elemental representa un gran reto. Aún y cuando la encapsulación de estos residuos se logre, con el tiempo estos productos se agrietan o se maltratan por el manejo de los residuos en un relleno lo que provoca lixiviación del mercurio. Esto ocasionaría los mismos riesgos ambientales a la salud y al ambiente que

aquellos residuos a los que no se les ha aplicado ningún tratamiento de encapsulación. Debido a éstas desventajas éstas técnicas no han sido probadas en residuos de mercurio elemental.

En los E.E.U.U. se aprueba la encapsulación sin pre-estabilización únicamente en aquellos residuos que contienen bajas cantidades de mercurio. Diversos tipos de materiales son utilizados en este tipo de técnica: elastómeros sintéticos, polisiloxano, o espuma de cerámica de silicio, sol gel, encapsulación con carbonato de calcio y óxido del magnesio (CaCO₃-MgO). Donde el residuo con mercurio es mezclado con cualquiera de estos materiales estabilizantes en una determinada proporción formando una mezcla líquida, misma que después endurece y encapsula el desecho. En algunas ocasiones la mezcla puede contener pequeñas cantidades de cemento. En los esfuerzos por mejorar resultados se han agregado aditivos tales como sulfato de aluminio de ácido cítrico.

Encapsulación con pre-estabilización (Oestreich y Col., abril 2010).

Cualquier técnica de estabilización puede ser utilizada a la par de una técnica de encapsulación. La combinación de ambas técnicas en muchos casos resulta con la reducción de los vapores de los residuos y la baja lixiviación de los productos. La estabilización y la encapsulación en conjunto pueden brindar varias ventajas. La primera es la reducción de la superficie (superficie/volumen) comparado con el producto en polvo pre-tratado y por lo tanto con un valor de lixiviación más bajo. La otra ventaja es que el producto encapsulado tiene una mayor resistencia y soporta mayores presiones. También presentan desventajas como la cantidad de mercurio en el producto final lo que hace que aumente la cantidad de residuos a disponer. Es necesario considerar que la aplicación de los dos procesos en conjunto eleva los costos, considerando esto también como una desventaja, a menos que no se tenga la seguridad de un proceso ha sido suficiente para reducir la peligrosidad del residuo.

Investigaciones No Comerciales Sobre Procesos de Estabilización y Solidificación del Mercurio

En la búsqueda por encontrar nuevas tecnologías que logren mejorar o sustituir los procesos ya estandarizados de estabilización y solidificación del mercurio, varias investigaciones han propuesto modificaciones. Zhang y Bishop (2001) en etapas preliminares lograron demostrar

que el fosfato bi-sódico (Na_2HPO_4) estabiliza el mercurio de forma exitosa, tanto en solución pura como en sustitutos. Se demostró que una relación molar 3 a 5 fosfato/mercurio es eficaz en la estabilización del mercurio y que se pueden obtener eficiencias superiores a 99% si se mantiene durante el proceso con fosfato un rango de pH óptimo de 2 a 5. Un aumento del pH ocasionaría la disminución en la eficiencia de estabilización hasta en un 80%. Las muestras adicionales que actuaron como sustitutos de mercurio demostraron que la Bentonita mejora la estabilización del mercurio. Al realizar el proceso con el fosfato solo, el mercurio no fue lo suficientemente estabilizado con el sustituto de mercurio como para pasar el test TCLP.

En 2003 Zhang y Bishop continuando con sus investigaciones en esta ocasión para residuos con gran contenido de mercurio. Esta vez el proceso de estabilización lo realizaron utilizando carbón reactivado en polvo (pac) de bajo costo, y posteriormente la solidificación con el cemento. Impregnando el PAC con sulfuro se mejora la capacidad de adsorción de mercurio. Los autores llegaron a la conclusión que con el proceso S/S con carbón activado y cemento se lograba una eficaz inmovilización de residuos con grandes contenidos de mercurio.

Xin-Yan et al (2009), realizaron investigaciones para la estabilización/solidificación de residuos de mercurio utilizando zeolita con grupos funcionales tiol (TFZ-thiol functionalized zeolite) y cemento. En este proceso la zeolita se utilizó como estabilizante y posteriormente el producto fue solidificado con cemento. Los resultados demostraron que la alta concentración de grupos $-\text{SH}$ en el TFZ mejoran la capacidad de adsorción del mercurio hasta 10 veces. Los grupos Cl^- y el PO_4^{3-} afectaron negativamente la adsorción del mercurio por TFZ, las mezclas estabilizadas y que posteriormente se solidificaron con cemento Portland pasaron las pruebas de lixiviados TCLP. Estas contenían hasta 1000mg Hg/Kg. La tecnología de estabilización/solidificación usando TFZ y cemento Portland es eficaz en el tratamiento y segura para la disposición de residuos con mercurio.

El programa europeo LIFE también se ha sumado a los esfuerzos por mejorar los procesos de estabilización/encapsulación. En 2009 López-Gómez et al desarrollaron bajo este programa un proceso para residuos de mercurio probaron una matriz estable de hormigón de azufre para la el cual logró contener hasta el 30% de Hg mostrando características mecánicas excelentes. Los materiales fueron probados en muchos ambientes agresivos para estudiar su comportamiento también se sometieron a ambientes alcalinos, fueron probados en atmósferas salinas y en condiciones de congelamiento-descongelamiento. Durante estos estudios los materiales presentaron degradaciones y/o deformaciones.

La USEPA aclaró en el 2003 que hasta aquel momento aún no era conveniente realizar cambios en las regulaciones nacionales basándose en dos estudios realizados que comprobaron que ninguna tecnología garantizaba la estabilidad necesaria para la segura disposición de residuos peligrosos después de haber sido probadas en todo el rango de pH que puede encontrarse en rellenos sanitarios. (US-EPA, 2003)

Estos dos estudios, probaron cuatro pre-tratamientos patentados, se simularon las condiciones más comunes de un relleno utilizando rangos de pH (2-12), el mercurio estabilizado como pellets enteros y molidos se pusieron en contacto a diferentes concentraciones de lixiviados. Durante estos estudios se mostro que no todos los estudios son efectivos en la estabilización de los residuos y que la lixiviación del mercurio elemental estabilizado depende del pH en que se encuentren. US-EPA (2003). En el 2010 Oestreich y Col. En base a los estudios realizados por la USEPA concluyeron que aún no es posible tratar el mercurio elemental y disponerlo de forma segura en rellenos sanitarios. No es posible garantizar que se pueden evitar los riesgos a la salud humana y al ambiente (Oestreich y Col., abril 2010).

Una de las opciones para el tratamiento de los residuos de mercurio incluye el reciclaje y/o reutilización; visto solo como una opción porque actualmente no existe una política adecuada, ya que una vez reciclado y devuelto al comercio vuelve también el riesgo potencial de dañar la salud humana y el ambiente (Ortega y Col., 2003).

METODOLOGÍA

El presente estudio consiste en una investigación de tipo cualitativo donde el objeto de estudio son los residuos de mercurio de dos hospitales públicos de Hermosillo, Sonora, las dependencias de gobierno involucradas en el ciclo de vida de mercurio y las empresas que presentan el servicio de recolección., transporte, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.

Los dos hospitales incluidos en esta investigación fueron seleccionados a conveniencia, debido a que se contaba con información reciente sobre los residuos de mercurio generada por Loustanou,(2012) y por la existencia de un convenio de colaboración con la Universidad de Sonora. Los instrumentos utilizados fueron entrevistas semi-estructuradas, con preguntas abiertas dirigidas a los titulares de las dependencias de gobierno y los gerentes de

las empresas prestadoras de servicio. Así también se realizaron visitas de inspección en las instalaciones de los hospitales para conocer las condiciones del almacenamiento de los residuos de mercurio.

Visita de campo a los Hospitales

A partir de los resultados obtenidos por Loustanou 2012 se obtuvo el inventario de los residuos de este metal presentes en dos hospitales públicos de Sonora y se realizaron visitas para poder conocer las formas en las que se utiliza el mercurio y el sistema de almacenamiento de los residuos.

Entrevistas a Dependencias de Gobierno Involucradas en el Manejo del Mercurio en Hospitales

Se entrevistó a los Delegados de las siguientes dependencias para identificar la competencia de cada una de ellas y su nivel de intervención, durante el ciclo de vida del mercurio en el sector salud:

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)
- Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES)

En el cuadro 1 se muestra la entrevista aplicada a los delegados de las dependencias de gobierno

Investigación/ Entrevista a las Empresas que Manejan Residuos de Mercurio

Se realizó una búsqueda en la página electrónica de SEMARNAT para obtener una lista de aquellas empresas en el país que tienen permiso para el manejo de residuos peligrosos.

Se entrevistó a los gerentes de cada una de ellas para identificar la siguiente información:

- 1.-Manejo de residuos de mercurio
- 2.-Procedimientos de manejo

3.-Disposición final de los residuos

El cuestionario aplicado durante la entrevista realizada a las empresas que manifestaron manejar residuos de mercurio se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 1.- Entrevista para las dependencias de gobierno ligadas al manejo de mercurio.

DEPENDENCIAS DE GOBIERNO LIGADAS A LA ELIMINACIÓN/REDUCCIÓN DE MERCURIO EN HOSPITALES

Entrevista con los Directores de las dependencias de gobierno asociadas al proyecto

Objetivo: Obtener información sobre la relación entre las funciones de la institución y el tema del proyecto. Nombre de la institución: Dirección:

Nombre del entrevistado:

Puesto del entrevistado: Fecha:

Preguntas

Actividad 1. Explicación del proyecto y sus objetivos.

Actividad 2. Realización de la entrevista.w3

¿Cuál es la principal función de la institución?

¿De qué manera se relacionan las funciones de la institución con el proyecto?

¿Cuáles son los giros industriales que regularmente atiende?

¿De qué manera la institución se ha relacionado con el sector salud u hospitales (aplicación de la legislación, programas de capacitación, trabajo coordinado, entre otros)?

¿Qué temas o aspectos que son de injerencia de esta institución deben ser observados en las etapas del sistema de administración de los insumos con mercurio usados en los hospitales? ¿Por qué?

En base a su experiencia y de la institución ¿qué acciones propone para lograr la eliminación/reducción gradual de mercurio en los hospitales del estado de Sonora?

¿Con cuales instituciones gubernamentales y no gubernamentales trabaja o ha trabajado en forma colaborativa con mayor frecuencia?

¿Cuáles temas ha trabajado con estas instituciones?

¿De qué manera esta institución puede contribuir y colaborar en el proyecto?

¿Cuáles son las políticas o regulaciones desarrolladas por esta institución que aplican al manejo de mercurio y que deberán ser consideradas en el plan de manejo que se pretende desarrollar? Recursos necesarios

Burgos y Col. 2013

Asesoría por Expertos en el Programa de Retiro de Mercurio en Hospitales

Durante la realización de éste trabajo se contó con asesoría por parte de expertos en el programa de hospitales sustentables de Lowell; así como también por un especialista en el retiro de mercurio proveniente del sector salud de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Cuadro 2.-Entrevista para las empresas que manejan residuos de mercurio.

Empresas de servicio para el transporte, acopio, tratamiento y disposición final de Hg en Sonora

Objetivo: Obtener información acerca de los procedimientos, requerimientos, y costos para los residuos de mercurio hospitalarios generados en Sonora.

Nombre de la Empresa:

Dirección:

Nombre del entrevistado:

Puesto del entrevistado:

Preguntas

Actividad 1. Explicación del proyecto y sus objetivos.

Actividad 2. Realización de la entrevista.

¿A qué se dedica esta empresa?

¿En dónde presta sus servicios?

¿Cuál es el tipo de residuos que manejan?

¿Maneja algún tipo de mecanismos de disposición?

¿Tiene autorización para su manejo de residuos?

¿Cuál es su registro de prestador de servicio ante SEMARNAT?

¿Con qué licencia cuenta usted para el servicio de residuos peligrosos?

¿Cuenta con un seguro ambiental? ¿A cuánto asciende este seguro?

Cuadro 2.-Entrevista para las empresas que manejan residuos de mercurio (continuación)

<p>¿Cuenta con equipo que utilice o manipula mercurio?</p> <p>¿Existe algún plan para modificar el procedimiento actual para el manejo de residuos de mercurio?</p> <p>¿Puede explicar cómo se realiza este procedimiento? Es decir, ¿Cómo se manejan los residuos de Hg una vez que esta empresa se hace cargo de ellos?</p> <p>¿Conoce cuáles son las medidas de control de impactos a la salud?</p> <p>¿Proporciona servicio para residuos de Hg?</p> <p>¿Para qué tipo de residuos de mercurio proporciona este servicio? ¿Existe alguna restricción?</p> <p>¿Cuál es la cantidad máxima o mínima de Hg que puede manejar para prestar el servicio?</p> <p>¿Con qué frecuencia presta este servicio?</p> <p>¿Desde cuándo realiza este servicio?</p> <p>¿Podría indicarnos cuáles son los giros industriales a los que regularmente presta este servicio?</p> <p>¿Cuáles son los requerimientos para proporcionar el servicio para residuos de Hg?</p> <p>En caso de que se presentara algún accidente durante el manejo de residuos de Hg, ¿Cuenta con un plan de contingencia?</p> <p>¿Cuáles son las medidas de control de impactos a la salud y al ambiente utilizadas durante el servicio?</p> <p>Una vez que se solicita el servicio de un cliente ¿con cuánto tiempo de espera se atiende su solicitud?</p> <p>¿Cuál es el costo del servicio?</p> <p>Considerando la infraestructura para el manejo de residuos con la que esta empresa cuenta, ¿Existen planes para mejorarlo o actualizarlo?</p> <p>Burgos y Col, 2013</p>
--

Análisis de las Opciones Existentes

Este análisis se llevó a cabo utilizando los criterios de evaluación de la Organización Para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (OECD, 2007) (Cuadro 3). Los cuales están establecidos como los elementos claves para el manejo ambientalmente adecuado de los

residuos, en general, que las empresas que manejan la gestión y/o aprovechamiento de los residuos peligrosos deben llevar a cabo sus actividades de forma que contribuyan a la protección del medio ambiente, la salud y la seguridad pública contribuyendo de esta manera a alcanzar los objetivos más amplios de desarrollo sustentable.

Para poder evaluar cada uno de los aspectos se asignó la puntuación de la siguiente manera: 0 es aquel criterio del cuál carecen las empresas; 1 cuando cumplen con ese aspecto o servicio; 2 solamente en el caso de contar con cobertura geográfica estatal.

Cuadro 3. Criterios de la organización para la cooperación y el desarrollo económico para evaluar el manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos

Aspectos de Evaluación
Tipo de residuos que contienen mercurio para los que la empresa presta servicio:
<input type="checkbox"/> <i>Lámparas fluorescentes</i> <input type="checkbox"/> <i>Mercurio líquido</i>
<input type="checkbox"/> <i>Material impregnado/contaminado con mercurio</i> <input type="checkbox"/> <i>Amalgamas de Hg</i>
<input type="checkbox"/> <i>Baterías de óxido de Hg</i> <input type="checkbox"/> <i>Sustancias químicas que contienen Hg</i>
Cobertura geográfica del servicio
<input type="checkbox"/> <i>Estatál (2)</i> <input type="checkbox"/> <i>Local (1)</i>
Etapas del plan de manejo que cubre sus servicios:
<input type="checkbox"/> <i>Recolección</i> <input type="checkbox"/> <i>Recolección y transporte al centro de acopio</i>
<input type="checkbox"/> <i>Tratamiento y/o disposición final</i> <input type="checkbox"/> <i>Transporte al sitio de tratamiento y/o disposición final</i>
Cuenta con un Sistema de Gestión Ambiental
Cuenta con el certificado de Industria Limpia
Cuenta con un reporte público de su Sistema de Gestión Ambiental
Cuenta con medidas para el control de impactos a la salud derivadas del servicio que presta
Cuenta con medidas para el control de impactos al ambiente derivadas del servicio que presta
La empresa presenta la Cédula de Operación Anual
Cuenta con un programa de capacitación para el personal involucrado en el manejo de residuos peligrosos
El plan de capacitación para el personal se encuentra documentado
Las funciones y responsabilidades del personal que maneja residuos peligrosos se encuentran definidas y documentadas
Cuenta con un plan de contingencia

Cuadro 3. Criterios de la organización para la cooperación y el desarrollo económico para evaluar el manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos (continuación).

El plan de contingencia contempla acciones a corto y largo plazo
Las acciones a corto y largo plazo del plan de contingencia incluyen el caso del mercurio
El plan de contingencia se actualizan periódicamente
La empresa con un plan de acción para el momento del cierre o clausura de las instalaciones
El plan de acción para el momento del cierre o clausura de las instalaciones incluye el cuidado posterior del sitio
La empresa cuenta con una garantía para el financiamiento de las acciones del plan de acción de cierre o clausura de las instalaciones
TOTAL

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Visita de campo a los Hospitales

Aún y cuando en la literatura nos podemos dar la idea de cuáles son los equipos y/o dispositivos que contienen mercurio y que son utilizados en los hospitales, es muy importante asegurarnos cuáles de éstos se encuentran en los hospitales para los cuales se realizó éste trabajo, por lo que se investigaron las fuentes de mercurio presentes en los hospitales según el inventario realizado por Loustanou, 2012 en los hospitales de estudio donde se encontraron:

- Mercurio líquido
- Lámparas fluorescentes
- Esfigmomanómetros
- Termómetros
- Reactivos con mercurio
- Restos de amalgamas
- Termostatos

- Presurómetro
- Interruptores de caldera

Residuos de mercurio

- Mercurio líquido (procedente del área dental, el recuperado de la rotura de equipo que contiene mercurio)
- Material contaminado con mercurio (vidrio, metal, plástico, PVC)
- Lámparas fluorescentes fuera de uso
- Amalgamas de mercurio

Durante la visita de campo en los hospitales se dio a conocer que ninguno de los dos hospitales cuenta con un plan de manejo de estos residuos o de un protocolo escrito.

Los hospitales cuentan con almacenes para residuos peligrosos y en ese mismo lugar colocan los residuos de mercurio, principalmente las lámparas fluorescentes. Pero no tienen ningún otro residuo de mercurio almacenado y ellos mismos manifiestan que continuamente se presentan accidentes donde se rompe equipo que contiene mercurio pero que desconocen lo que sucede con el mercurio que estaba en esos equipos.

Entrevista a las Dependencias de Gobierno Involucradas en el Manejo del Mercurio en Hospitales

Existen dependencias de Gobierno que se ven involucradas durante el ciclo de vida del mercurio en los hospitales una vez que éste es considerado un residuo en un hospital, estas dependencias expresan su interés por participar y vigilar el correcto manejo del mercurio, dentro de las competencias de sus puestos. De igual manera los delegados de estas dependencias mostraron también la disponibilidad para participar en etapas como capacitación y/o prevención de accidentes dentro de los hospitales.

En el cuadro 4 se muestra la información obtenida de las entrevistas dependencias a quien se entrevistó, el puesto de la persona a cargo, nombre, la función de la institución, así como la etapa del manejo de los residuos de mercurio donde participará.

Cuadro 4. Dependencias de gobierno ligadas al manejo de los residuos peligrosos.

Dependencia	Puesto del encargado	Función de la institución	Etapa del manejo de mercurio donde participará
STPS*	Delegado	Impulsar la productividad en el trabajo, capacitación, generar condiciones para que las empresas tengan trabajadores con desarrollo laboral.	Siempre que el trabajador dentro del hospital tenga contacto con el mercurio o sus residuos.
SEMARNAT**	Delegado	Protección, restauración y conservación de los ecosistemas con el fin de que se dé el desarrollo sustentable.	Cuando el mercurio ya es un residuo y durante su transporte a la disposición final.
PROFEPA***	Delegado	Inspección y vigilancia en materias de impacto ambiental, forestal, vida silvestre, zona federal marítimo-terrestre.	Cuando el mercurio o sus residuos estén dentro del hospital.
CEDES****	Comisión ejecutiva Asistente técnico	El manejo de los materiales que no son de índole federal en materia de gestión, protección ambiental y conservación.	Como apoyo dentro del estado y es necesario que tengan conocimiento del manejo del mercurio.

* Secretaría del Trabajo y Previsión Social

** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

*** Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

**** Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora

Los encargados de las dependencias de gobierno que se entrevistaron durante la realización de éste trabajo se mostraron muy entusiastas en apoyar y/o colaborar para poder asegurar que los residuos de mercurio se manejen de manera correcta y reciban una disposición final adecuada.

Los delegados concuerdan que la gestión de estos residuos se puede dar de manera exitosa pero que es muy importante la capacitación de todo el personal que labora en un hospital, ya que cualquiera de los trabajadores puede estar expuesto a un accidente donde se derrame mercurio.

Los apoyos de estas dependencias serían en diferentes etapas durante la gestión de los residuos de mercurio en los hospitales: La STPS, se encarga de vigilar la salud de los trabajadores y sus condiciones de trabajo y apoyaría la etapa de capacitación al personal de los hospitales, donde les proporcione el conocimiento de la importancia de las buenas prácticas de manejo de los equipos que contienen mercurio, también en la capacitación para limpiar correctamente derrames de mercurio, y capacitación para almacenar los residuos de manera adecuada.

La PROFEPA en su esfuerzo de cuidar el ambiente tiene competencia dentro del sector salud y vigila el correcto manejo de los residuos peligrosos que se producen en los hospitales para que éstos no causen impacto en el ambiente al ser desechados de manera inadecuada por falta de conocimiento. La PROFEPA está facultada para apoyar en la etapa de capacitación del personal que estará encargado de la limpieza de los derrames de mercurio, para asegurar un almacenamiento de los residuos y que éstos se dispongan de manera adecuada.

La SEMARNAT vigila también la preservación del ambiente y los recursos naturales, su competencia sería vigilar el manejo de los residuos una vez que éstos salgan del hospital y durante su trayecto a la empresa que se encargará de darle disposición final. Esta delegación apoyaría también en la capacitación del personal que almacena los residuos y en la administración de éstos residuos antes de que los reciba la empresa que los va a disponer.

La CEDES es otra de las dependencias que apoyaría la etapa de capacitación del personal para el manejo de los residuos de mercurio en los hospitales.

Todas muestran su interés en que los hospitales cuenten con protocolos que apoyen a los trabajadores en el manejo de las sustancias más peligrosas y los residuos de éstas, y que cuenten con la capacitación necesaria en caso de que se presente una contingencia como podría ser un derrame de mercurio.

Opciones para la Disposición Final de los Residuos de Mercurio

En México existen empresas dedicadas al manejo, transporte, tratamiento y/o disposición final de residuos peligrosos que prestan sus servicios a empresas, instituciones de servicio, etc. No todas reciben residuos de mercurio y no todas manejan cualquier tipo de residuo de mercurio.

En el cuadro 5 se presenta la información obtenida de la investigación realizada en la base de datos de SEMARNAT de las empresas registradas que prestan el servicio de transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos en México, tipo de residuos que manejan y la ubicación de estas empresas.

Cuadro 5. Empresas que manejan residuos peligrosos en México

Empresa	Tipo de Manejo	Dirección
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V. (Planta Silao)	Tratamiento de Residuos Peligrosos	Parcela No. 1-A Ejido San José García s/n, Carretera Silao-Romita Km 2.5 Silao, Guanajuato
Sistemas de Tratamiento Ambiental	Tratamiento: pilas o baterías y lámparas	Av. Salamanca Esq. Av. Del Canal s/n Cd. Industrial 36580 Irapuato, Guanajuato
Promotora Ambiental del Sureste	Tratamiento de Residuos Peligrosos	Carretera Villahermosa-Cárdenas Km 2+600 Ranchería Anacleto Canabal 3º sección 86280 Centro, Tabasco
Tecno Sistemas Ecológicos, S.A. de C. V.	Confinamiento: baterías con mercurio, residuos con mercurio	Km 7 al noreste de la cabecera municipal de Viesca. Viesca, Coahuila
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C. V. Av. Lázaro Cárdenas No. 2400 poniente, Col. San Agustín	Confinamiento de Residuos Peligrosos	Av. Lázaro Cárdenas No. 2400 poniente, Col. San Agustín San Pedro Garza García, Nuevo León
GEN Hermosillo	Transporte de Residuos Peligrosos	Calle del Plomo 33b, Parque Industrial. Hermosillo, Sonora CP 83299
SOLUTEEC soluciones tecnológicas para la ecología	Transporte de Residuos Peligrosos	Virreyes No. 43 Col. Villa Satélite, Hermosillo, Sonora
Centro Integral de Manejo Ambiental S.A. CIMASA	Transporte de Residuos Peligrosos	Garmendia y Matamoros Everardo Monroy #70. Hermosillo, Sonora

La entrevista realizada a los gerentes de las empresas prestadoras de servicios permitió obtener conocimiento de que no todas prestaban servicio para los residuos de mercurio, o no se encontraban en funcionamiento, resultando que solo tres de ellas realizan actualmente el servicio de transporte, tratamiento y disposición final de mercurio. Estas empresas se identificarán de ahora en adelante por motivos de confidencialidad como: Empresa A, Empresa B y Empresa C.

Las tres empresas que se encontraron fueron entrevistadas para conocer sobre la administración y el manejo de los residuos de mercurio.

La empresa A recibe todos los residuos de mercurio, pero solo ofrece el servicio de recolección y transporte hacia un almacén de residuos peligrosos.

La empresa C solo presta servicio de recolección y transporte de lámparas fluorescentes, y una vez que recoge las lámparas en los hospitales las transporta a un almacén de residuos peligrosos.

La empresa B recibe todos los residuos de mercurio que posiblemente se tendrían en un hospital, una vez que se les solicita el servicio, recogen los residuos en los hospitales, posteriormente los residuos serían llevados a un almacén de residuos peligrosos.

Las tres empresas cuentan con almacenes temporales de residuos peligrosos en esta ciudad, donde los residuos permanecerían hasta un período no mayor de seis meses, para ser mandados al lugar de tratamiento y/o disposición final. Solo la empresa C ofrece el manejo integral completo ya que es la que cuenta con permiso para dar el servicio de tratamiento y un área de disposición final de residuos peligrosos

Análisis de las Opciones para la Disposición Final de los Residuos de Mercurio Hospitalario en el Estado de Sonora

En el cuadro 6 se muestra la evaluación realizada a las tres empresas que manejan residuos de mercurio. Esta evaluación permite determinar en base a los criterios aplicados a la empresa que esté en capacidad de proporcionar el mejor y más completo servicio para los residuos de mercurio de los hospitales.

La evaluación aplicada a las empresas que manejan residuos peligrosos permitió identificar una visión más amplia al momento de elegir aquella que nos podría prestar el mejor y más completo servicio.

En base a los criterios aplicados la empresa B es la que nos proporcionaría el mejor servicio de recolección de residuos peligrosos. Esta empresa recibe todos los residuos de mercurio, y cuenta con la administración, capacitación y las certificaciones que nos aseguran el manejo ambientalmente adecuado de los residuos de mercurio.

Cuadro 6. Criterios y evaluación de las empresas que manejan residuos de mercurio

Aspectos de Evaluación	EMPRESAS		
	A	B	C
Tipo de residuos que contienen mercurio para los que la empresa presta servicio:			
· Lámparas fluorescentes	1	1	1
· Mercurio líquido	1	1	0
· Material impregnado/contaminado con mercurio	1	1	0
· Baterías de óxido de Hg	1	1	0
· Amalgamas de Hg	1	1	0
· Sustancias químicas que contienen Hg			
· Cobertura geográfica del servicio			
· Estatal (2)	2	2	2
· Local (1)			
Etapas del plan de manejo que cubre sus servicios:			
· <i>Recolección</i>	1		1
· <i>Recolección y transporte al centro de acopio</i>	1	1	1
· <i>Transporte al sitio de tratamiento y/o disposición final</i>	1	1	1
· <i>Tratamiento y/o disposición final</i>	0	1	0
Cuenta con un Sistema de Gestión Ambiental	0	1	1
Cuenta con el certificado de Industria Limpia	0	1	1
Cuenta con un reporte público de su Sistema de Gestión Ambiental	0	0	0
Cuenta con medidas para el control de impactos a la salud derivadas del servicio que presta	1	1	1
Cuenta con medidas para el control de impactos al ambiente derivadas del servicio que presta	1	1	1
La empresa presenta la Cédula de Operación Anual	1	1	1

Cuadro 6. Criterios y evaluación de las empresas que manejan residuos de mercurio (continuación).

Cuenta con un programa de capacitación para el personal involucrado en el manejo de residuos peligrosos	1	1	1
El plan de capacitación para el personal se encuentra documentado	1	1	1
Las funciones y responsabilidades del personal que maneja residuos peligrosos se encuentran definidas y documentadas	1	1	1
Cuenta con un plan de contingencia	1	1	1
El plan de contingencia contempla acciones a corto y largo plazo	1	1	1
Las acciones a corto y largo plazo del plan de contingencia incluyen el caso del mercurio	0	0	0
El plan de contingencia se actualiza periódicamente	1	1	1
La empresa cuenta con un plan de acción para el momento del cierre o clausura de las instalaciones	0	1	1
El plan de acción para el momento del cierre o clausura de las instalaciones incluye el cuidado posterior del sitio	0	1	1
La empresa cuenta con una garantía para el financiamiento de las acciones del plan de acción de cierre o clausura de las instalaciones	0	1	1
TOTAL	19	25	20

CONCLUSIONES

Las fuentes de mercurio presentes durante la realización de las visitas de campo en los hospitales piloto incluidos en este estudio son: equipos de medición de presión y temperatura (termómetros, esfigmomanómetros, presurómetros, etc.), mercurio líquido, lámparas fluorescentes, reactivos con mercurio; así como también residuos derivados del uso de cada uno de los anteriores.

Durante el ciclo de vida del mercurio en los hospitales intervienen dependencias de gobierno principalmente en la etapa de administración de los residuos de mercurio. La PROFEPA, SS, SEMARNAT, SCT, SCT, Cedes. Cada una de ellas dentro del ámbito de su competencia para alcanzar el manejo ambientalmente adecuado de los residuos y la salud tanto de los trabajadores como de los seres vivos.

En Hermosillo, Sonora existen tres empresas dedicadas al manejo y disposición final de los residuos de mercurio, una de ellas ofrece el servicio más completo y el manejo de los residuos más sustentable.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se hacen las siguientes recomendaciones:

La elaboración de un protocolo de manejo de residuos de mercurio dentro de los hospitales. Que permita la concientización de los trabajadores para evitar los potenciales efectos adversos a la salud y al ambiente.

Realizar campañas de capacitación invitando a todo el personal que labora en el hospital, desde el personal de intendencia hasta los que encabezan el organigrama, con el fin de que cualquier persona este capacitada para atender un accidente o bien asesorar a quien se le asigne la tarea.

En las capacitaciones solicitar la participación de las dependencias de gobierno que tienen competencia acerca del manejo de los residuos peligrosos y también de la empresa que se contrate para la recolección, transporte y disposición de los residuos.

Investigar y adoptar las nuevas tendencias hacia los equipos y dispositivos libres de mercurio, y aprovechar estas adquisiciones para comenzar a sumarse a la nueva generación de hospitales verdes y/o sustentables.

REFERENCIAS

Agency for Toxic Substances Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Mercury. ATSDR, U.S. Department for Human Health Services. Atlanta, GA, 1999.

Aposhian HV, Maiorino RM, Gonzalez-Ramirez D, Zuniga-Charles M, Xu Z, Hurlbut KM et al. Mobilization of heavy metals by newer, therapeutically useful chelating agents. *Toxicology* 1995;97:23-38.

Bågedahl-Strindlund M. A multi-disciplinary clinical study of patients suffering from illness associated with mercury release from dental restorations: psychiatric aspects. *Acta Psychiatrica Scand* 1997; 96:475-82.

Bender MT, Williams JM. A real plan of action on mercury. *Public Health Rep* 1999;114:416-420

Bergdahl IA, Schutz A, Ahlqvist M, Bengtsson C, Lapidus L, Lissner L et al. Methylmercury and inorganic mercury in serum – correlation to fish consumption and dental amalgam in a cohort of women born in 1922. *Environ Res* 1998;77:20-4.

Bjorkman L, Lind B. Factors influencing mercury evaporation rate from dental amalgam fillings. *Scand J Dent Res* 1992;100:354-60.

Boening DW. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 2000;40:1335-1351.

Burgos, H. M., Alvarez, C. C. R, y col. 2013. Guía para el Diseño e Implementación del Plan de Manejo para Mercurio y sus Residuos Provenientes del Sector Salud del Estado de Sonora. Reporte Técnico- Comisión para la Cooperación Ambiental, Universidad Estatal de Sonora y Secretaría de Salud. Sonora, México

Burgos, M., 2008, Strategy for mercury elimination in public hospitals of Sonora State, Mexico: implementation of two research projects for the achievement of a collaborative agreement Tesis, Diciembre, University of Massachusetts-Lowell

Cizdziel JV, Hinnens TA, Pollard JE, Heithmar EM, Cross CL. Mercury concentrations in fish from Lake Mead, USA, related to fish size, condition, trophic level, location, and consumption risk. *Arch Environ Contam Toxicol* 2002;43:309-317.

Clarkson TW. Mercury: major issues in environmental health. *Environ Health Perspect* 1993;100:31–38.

Echeverria D, Aposhian HV, Woods JS, Heyer NJ, Aposhian MM, Bittner AC-Jr et al. Neurobehavioral effects from exposure to dental amalgam Hg (o): new distinctions between recent exposure and Hg body burden. *FASEB J* 1998;12:971-80.

Etzel RA, Balk SJ, eds. Handbook of Pediatrics Environmental Health. American Academy of Pediatrics. Committee on Environmental Health. Elk Grove Village, ILL:AAP Publ, 1999.

Foo S, Ngim CH, Salleh I, Jeyaratnam J, Boey KW. Neurobehavioral effects in occupational chemical exposure. *Environ Res* 1993;60:267-73.

Goldman LR, Shannon MW. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Technical Report: Mercury in the Environment: Implications for Pediatricians. *Pediatrics* 2001;108: 197-205.

Gonzalez F, Schalscha E, Becerra J, Silva M. Mercury in a marine trophic chain. Bull Environ Contam Toxicol 2002;68:448-454.

Harvie Jamie y Karliner Joshua. 2008. Salud sin Daño: El fin de una era: La eliminación gradual de los esfigmomanómetros con mercurio en los Estados Unidos y sus implicancias para Europa y el resto Del mundo. Pag.1.

J.A. Ortega García, J. Ferrís i Tortajada, J.A. López Andreu, A. Marco Macián, J. García i Castell, A. Cánovas Conesa, A. Ortí Martín, E Ibiza Palacios6, F. Molina González, D. Lorente Ortega. Hospitales sostenibles (II). Mercurio: exposición pediátrica. Efectos adversos en la salud humana y medidas preventivas. VOL. 59 N°3, 2003.Pag.277, 280.

Karliner, J. &Harvie, J., 2007. Movimiento Mundial para el Cuidado de la Salud Libre de Mercurio. Salud sin daño, pp. 7-40.

Langworth S, Sallsten G, Barregard L, Cynkier I, Lind ML, Soderman E. Exposure to mercury vapor and impact on health in the dental profession in Sweden. *J Dent Res* 1997;76:1397-404.

Lopez Gomez et al (2009) - Lopez Gomez, F.A., Perez, C., Alguacil, F.J., Lopez Delgado, A., Goni, S. and Guerrero, A.M.; "Stabilization of mercury by sulphur concrete: Study of the durability of the materials obtained". 1st Spanish National Conference on Advances in Materials Recycling and Eco – Energy, Madrid.

Loustaunau A. 2012. Asistencia técnica colaborativa para la eliminación de Hg en dos hospitales de Sonora. Pp. 34, 47

Morales Fuentes Ivelin, Reyes Gil Rosa, 2003. Mercurio y Salud en la Odontología. Pag.266. Rev Saúde Pública 2003;37(2):266-72

Moreno, Maritza, 2010. Tesis de licenciatura. Prevención de la Contaminación por Mercurio (Hg): Rumbo a un Hospital Sustentable en Hermosillo. Pp. 15,17,18,19.

Oestreich y Col., abril 2010. Pág. 58, 60-65. Téc. Análisis de opciones y estudios de factibilidad para el almacenamiento a largo plazo del mercurio en américa latina y el Caribe.

J.A. Ortega García, J. Ferrís i Tortajada, J.A. López Andreu, A. Marco Macián, J. García i Castell, A. Cánovas Conesa, A. Ortí Martín, E Ibiza Palacios, F. Molina González, D. Lorente Ortega. Hospitales sostenibles (II). Mercurio: exposición pediátrica. Vol. 59 No. 3; 279-280.

Ortega García JA, Ferrís i Tortajada J, Aliaga Vera J, Beseler Soto B, García i Castell J, Canovas Conesa A. *Primum non nocere: el niño ante las agresiones ambientales de la actividad pediátrica.* *An Esp Pediatr* 2002;56:375-381.

Ortega García JA, Ferrís i Tortajada J, López Andreu J, García i Castell J, García i Domínguez F, Berbel Tornero O, et al. *El pediatra ante el desarrollo sostenible y el cambio climático global.* *Rev Esp Pediatr* 2001;57:287-298.

Ortega García JA, Ferrís i Tortajada J, López Andreu JA, García i Castell J, Canovas Conesa A, Berbel Tornero O, et al. *El pediatra y la incineración de residuos sólidos. Conceptos básicos y efectos adversos en la salud humana.* *Rev Esp Pediatr* 2001;57:473-490.

SEMARNAT 2010. *Plan de manejo integral para el retiro de mercurio y sus residuos que lo contienen en el sector salud.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Mayo, 2010)

SBC (2010) – Secretariat of the Basel Convention, “Draft technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of wastes consisting of, Containing or Contaminated with Mercury – 5th Draft (January 2010).

SBC (2010) - Secretariat of the Basel Convention, “Draft Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Mercury – 5th Draft (January 2010)

Shaner H. *Green birthdays: reducing harmful exposures.* *J Pediatr Nurs* 2002; 17: 222- 225.

Siciliano SD, O'Driscoll NJ, Lean DR. *Microbial reduction and oxidation of mercury in freshwater lakes.* *Environ Sci Technol.* 2002; 36: 3064-3068.

Tarras-Wahlberg NH, Flachier A, Lane SN, Sangfors O. *Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: the Puyango River basin, southern Ecuador.* *Sci Total Environ* 2001;278: 239- 261.

U.S. Environmental Protection Agency. *Mercury Study Report to Congress.* US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development. Washington, DC, USEPA, 1997.

US-EPA (2003) - Federal Register /Vol. 68, No. 19 /Wednesday, January 29, 2003 / Land Disposal Restrictions: Treatment Standards for Mercury-Bearing Hazardous Waste; Notice of Data Availability, US Environmental Protection Agency (EPA)

US-EPA (2007a) - "Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste, and Water", Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, August 2007, Washington, DC)

US-EPA, 2003 . Mercury Stewardschip Storage Mercury, U.S, Environmental Protection Agency, October 2003.

US-EPA, 2003. Federal register/ Vol. 68, No. 19/Wednesday, January 29, 2003/Land Disposal Restrictions: Treatment Standards for Mercury-Bearing Hazardous Waste; Notice of Data Availability, US Environmental Protection Agency (EPA).

WHO Working Group. Mercury - environmental aspects. TA: Environmental Health Criteria PG:115. Geneva, 1989.

World Health Organization. *Inorganic mercury*. Geneva; 1991. (Environmental Health Criteria, 118).

Xin-Yan et al. (2009) - Xin-Yan Z., Qi-Chao W., Shao-Qing Z., Xiao-Jing S. and Zhong-Sheng Z.; Stabilization/solidification (S/S) of mercury-contaminated hazardous wastes using thiolfunctionalized zeolite and Portland cement. Journal of Hazardous Materials Volume 168, Issues 2-3, 15, Pag. 1575-1580

Zarlenga Mercedes, Somaruga Luis y Rodolfa María Della. 2006. Mercurio, ftalatos y radiaciones ionizantes en las unidades de cuidado neonatal. Efectos adversos y medidas preventivas. Pág. 455. Arch Argent Pediatr 2006; 104(5):454-460 / 454

Zhang and Bishop (2001) - Zhang, J. and Bishop, P.L.; Phosphate – Induced mercury stabilization : a pre-treatment technology. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2001: Session 41 through Session 50 ,Pag. 462-473(12).

Zhang and Bishop (2003) - Zhang, J. and Bishop, P.L., Stabilization/Solidification of High Mercury Wastes with Reactivated Carbon. Pract. Periodical of Haz., Toxic, and Radioactive Waste Mgmt. Volume 7, Issue 1, Pag. 31-36.

EPA, 2007. Locating and estimating air emissions from sources of mercury and mercury compounds. EPA-454/R-97-012.Pag.3

Comisión Federal para la Prevención contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), (2011). Guía de Buenas Prácticas de Uso de Mercurio en Consultorios Dentales. Secretaría de Salud. Pag. 5

Temas mercurio, 2011. Salud sin daño. El problema: Mercurio en el sector salud. http://www.noharm.org/salud_sin_danio/temas/toxicos/mercurio. (accesado: febrero 2011)

Arana Zerraga Marco, 2009. El caso del derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud de la población rural expuesta. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2009; 26(1):113-18. Pag. 1.

(OECD) Organisation for economic co-operation and development Guidance manual for the implementation C (2004)100 on environmentally sound management (ESM) of waste, 2007.Pág.40.