

ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO ACTUAL DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES, NIVEL DE CONTAMINANTES Y DISPOSICIÓN FINAL

José Remberto Miranda Mejía

Samuel Martínez Gómez

John Figerald Kenedy Hernández Miranda



COLECCIÓN INVESTIGACIONES
Universidad Tecnológica de El Salvador

53



ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO ACTUAL DE LAS LÁMPARAS
FLUORESCENTES, NIVEL DE CONTAMINANTES
Y DISPOSICIÓN FINAL

Investigadores

José Remberto Miranda Mejía (Utec)

Samuel Martínez Gómez (Utec)

John Figerald Kenedy Hernández Miranda (MTPS)

La investigación fue desarrollada con la subvención de la Universidad Tecnológica de El Salvador. Las solicitudes de información y otros documentos relativos al presente estudio pueden hacerse a la dirección postal: calle Arce, 1045, Universidad Tecnológica de El Salvador; Vicerrectoría de Investigación, Dirección de Investigaciones, calle Arce y 19a. avenida Sur, edificio Dr. José Adolfo Araujo Romagoza, 2°. nivel, y a los correos electrónicos: jose.miranda@utec.edu.sv y vicerrectoriadeinvestigacion@utec.edu.sv.

San Salvador, 2014

Derechos Reservados

© Copyright

Universidad Tecnológica de El Salvador

363.738

M672a Miranda Mejía, José Remberto, 1973-

sv Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes,
nivel de contaminantes y disposición final / José Remberto Miranda
Mejía, John Figerald Kenedy Hernández Miranda, Samuel Martínez
Gómez. -- 1ª ed. -- San Salvador, El Salv. : Universidad Tecnológica
de El Salvador, 2015.

115 p. : il. ; 23 cm. -- (Colección investigaciones ; v. 53)

ISBN 978-99961-48-48-4

1. Lámparas fluorescentes. 2. Contaminantes químicos. 3.
Contaminación ambiental. I. Hernández Miranda, John Figerald
Kenedy, 1965-, coaut. II. Martínez Gómez, Samuel, 1950- coaut.
III. Título.

BINA/jmh

AUTORIDADES UTEC

Dr. José Mauricio Loucel

Presidente Junta General Universitaria

Lic. Carlos Reynaldo López Nuila

Vicepresidente Junta General Universitaria

Sr. José Mauricio Loucel Funes

Presidente UTEC

Ing. Nelson Zárate

Rector UTEC

ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO ACTUAL DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES, NIVEL DE CONTAMINANTES Y DISPOSICIÓN FINAL

José Remberto Miranda Mejía • Samuel Martínez Gómez • John Figerald Kenedy Hernández Miranda

Vicerrectoría de Investigación

Licda. Noris Isabel López Guevara

Vicerrectora

Licda. Camila Calles Minero

Directora de Investigaciones

Licda. Cecilia Sisnados de Ayala

Diseño y Diagramación

Noel Castro

Corrector

PRIMERA EDICIÓN

150 ejemplares

Octubre, 2015

Impreso en El Salvador

Por Tecnoimpresos, S.A. de C.V.

19 Av. Norte, No. 125, San Salvador, El Salvador

Tel.:(503) 2275-8861 • gcomercial@utec.edu.sv

Agradecimientos

Agradecemos a todas las empresas e instituciones que prestaron su valiosa colaboración y tiempo para esta investigación por los datos compartidos; el permiso para la toma de muestra de contaminante y análisis de cada caso en los lugares visitados. También agradecemos a las autoridades de Ministerio de Trabajo y Previsión Social por su apoyo a la investigación; y a todos los compañeros de trabajo por su contribución con ideas y experiencia en el área de investigación.

Índice

| | Pág. |
|--|------|
| Resumen..... | 11 |
| Introducción..... | 12 |
| Objetivos de la investigación..... | 14 |
| Lámparas fluorescentes, historia de la lámpara..... | 14 |
| Funcionamiento..... | 18 |
| Tratados, control y registro del mercurio en El Salvador..... | 24 |
| El mercurio en el medio ambiente..... | 27 |
| Efectos graves de la exposición al mercurio..... | 31 |
| Principales fuentes de liberación de mercurio..... | 33 |
| Propiedades químicas y toxicidad del mercurio..... | 36 |
| Método..... | 41 |
| Resultados de trabajo de campo..... | 44 |
| Análisis de alternativas para el tratamiento de lámparas fluorescentes..... | 67 |
| Propuesta de tratamiento y recolección de lámparas fluorescentes que contienen mercurio..... | 70 |
| Contenedor propuesto para la recolección, almacenamiento temporal y transporte a planta de tratamiento..... | 72 |
| Tratamiento de remediación térmica para la recuperación de mercurio..... | 73 |
| Confinamiento final del mercurio destilado de las lámparas fluorescentes .. | 76 |
| Conclusiones..... | 79 |
| Recomendaciones..... | 80 |
| Referencias..... | 82 |
| Anexos..... | 90 |

Lista de siglas y acrónimos

| | |
|--------|---|
| ACGIH | Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales |
| AIE | Agencia Internacional de Energía |
| AMSS | Área Metropolitana de San Salvador |
| ASTDR | Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades |
| CE | Comisión Europea |
| Conama | Comisión Nacional de Medio Ambiente |
| ELT | Especialidades electrotécnicas |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EE.UU.) |
| FDA | Administración de Alimentos y Drogas de EE.UU. |
| INECC | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático |
| Inti | Instituto Nacional de Tecnología Industrial |
| IPCS | Programa Internacional de Seguridad Química |
| MARN | Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| NFPA | Asociación Nacional de Protección contra el Fuego |
| OIT | Organización Internacional del Trabajo |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| RTI | Research Triangle Institute |
| UCV | Universidad Central de Venezuela |
| UGR | Universidad de Granada |

Glosario técnico

| | |
|-------------------|------------------------------|
| TLV | Valor límite umbral |
| TWA | Promedio ponderado de tiempo |
| ug/l | Microgramos por litro |
| mg/m ³ | Miligramos por metro cúbico |
| Hg | Mercurio |
| Hg ⁰ | Mercurio elemental |
| Hg ⁺¹ | Mercurio monovalente |
| Hg ⁺² | Mercurio divalente |
| HgS | Sulfuro de mercurio |

Índice de tablas

| Tabla | | Pág. |
|--------------|---|-------------|
| 1 | Tipos de lámparas | 16,17 |
| 2 | Elementos contenidos en el polvo fluorescente de la lámpara | 19 |
| 3 | Radiaciones ultravioletas según Indalux, 2002 | 20 |
| 4 | Fuentes de emisión de mercurio | 35 |
| 5 | Dispositivos para la medición de mercurio según Dräger | 39 |
| 6 | Función de cálculo de concentración de mercurio en aire según número de carrera en tubo de control Dräger | 43 |
| 7 | Resultados de primera visita con tres distintos sitios analizados | 47 |
| 8 | Resultados de segunda visita a un sitio en un punto analizado | 48 |
| 9 | Resultados de tercera visita con un sitio analizado | 49 |
| 10 | Resultados de cuarta visita con dos sitios analizados | 50 |
| 11 | Resultados de quinta visita con dos lugares analizados | 51 |
| 12 | Resultados de sexta visita con un sitio analizado | 52 |
| 13 | Resultados de séptima visita con cuatro sitios analizados | 53 |
| 14 | Resultados de octava visita con un sitio analizado | 54 |
| 15 | Resultados de novena visita con dos sitios analizados | 55 |
| 16 | Resultados de décima visita con un sitio analizado | 56 |
| 17 | Resultados de décima primera visita con una muestra en el sitio | 57 |
| 18 | Resultados de décima segunda visita con dos sitios analizados | 58 |
| 19 | Resultados de décima tercera visita con un sitio analizado | 59 |
| 20 | Resultados de décima cuarta visita con dos sitios analizados | 60 |
| 21 | Resultados de décima quinta visita con un sitio analizado | 61 |
| 22 | Resultados de décima sexta visita con un sitio analizado | 62 |
| 23 | Resultados de décima séptima visita con dos sitios analizados | 63 |
| 24 | Resultados de décima octava visita con dos sitios analizados | 65 |
| 25 | Resultados de décima novena visita con dos sitios analizados | 66 |
| 26 | Datos técnicos de proceso de trituración y compactación de lámparas fluorescentes | 73 |

| | | |
|----|---|------------|
| 27 | Niveles de mercurio en pescados y mariscos comerciales | 93-96 |
| 28 | Características de la exposición según especie de mercurio, por subcategorías identificadas en Chile | 98- 100 |

Índice de figuras

| Figura | | Pág. |
|---------------|--|-------------|
| 1 | Excitación atómica y emisión espontánea de radiación | 15 |
| 2 | Equipo de encendido para un tubo fluorescente normal | 18 |
| 3 | Funcionamiento de tubo fluorescente | 19 |
| 4 | Luz visible, longitudes de onda 380 y 780 nm | 21 |
| 5 | Importaciones anuales de lámparas fluorescentes lineales en los últimos doce años | 25 |
| 6 | Importaciones anuales de lámparas fluorescentes circulares en los últimos once años | 25 |
| 7 | Importaciones anuales de lámparas de alta presión de vapor de sodio, mercurio y lámparas de halogenuros en los últimos doce años | 26 |
| 8 | Importaciones anuales de mercurio elemental a El Salvador en los últimos doce años | 27 |
| 9 | Desechos que llegan al medio marino a partir de una gran variedad de fuentes | 28 |
| 10 | Especies de mercurio en aire, agua, suelo y sedimento | 30 |
| 11 | Tubo Dräger CH23-101 para medir vapor de mercurio en aire | 43 |
| 12 | Estado actual de la disposición de las lámparas fluorescentes. Elaboración propia | 46 |
| 13 | Muestra N° 1 | 47 |
| 14 | Muestra N° 2 | 47 |
| 15 | Muestra N° 3 | 48 |
| 16 | Muestra N° 4 | 48 |
| 17 | Muestra N° 5 | 49 |
| 18 | Muestra N° 6 | 50 |
| 19 | Muestra N° 7 | 50 |
| 20 | Muestra N° 8 | 51 |

| | | |
|----|---|-----|
| 21 | Muestra N° 9 | 51 |
| 22 | Muestra N° 10 | 52 |
| 23 | Muestra N° 11 | 54 |
| 24 | Muestra N° 12 | 54 |
| 25 | Muestra N° 14 | 54 |
| 26 | Muestra N° 15 | 55 |
| 27 | Muestra N° 16 | 56 |
| 28 | Muestra N° 18 | 57 |
| 29 | Muestra N° 19 | 58 |
| 30 | Muestra N° 20 | 59 |
| 31 | Muestra N° 21 | 59 |
| 32 | Muestra N° 22 | 60 |
| 33 | Muestra N° 23 | 61 |
| 34 | Muestra N° 24 | 61 |
| 35 | Muestra N° 25 | 61 |
| 36 | Muestra N° 26 | 62 |
| 37 | Lugar donde se tomó una de las muestras | 63 |
| 38 | Muestra N° 27 | 64 |
| 39 | Muestra N° 28 | 64 |
| 40 | Muestra N° 30 | 65 |
| 41 | Muestra N° 32 | 66 |
| 42 | Análisis de tratamiento a lámparas fluorescentes y confinamiento final | 69 |
| 43 | Trayectoria propuesta de recolección de lámparas fluorescentes | 70 |
| 44 | Señalización de sustancias tóxicas y sustancias peligrosas para el medio ambiente | 71 |
| 45 | Contenedor propuesto para recolección, almacenamiento temporal y transporte a planta de tratamiento | 72 |
| 46 | Proceso de remediación térmica | 75 |
| 47 | Sección transversal de la tierra (por sectores) | 76 |
| 48 | Indicando los principales elementos en diversos sectores | 77 |
| 49 | Concentración de mercurio en partes por millón (ppm) en peces y mariscos comerciales | 97 |
| 50 | Mascara full face 3M 7800-S | 101 |

Resumen

La investigación consiste en analizar los tratamientos actuales a los desechos que generan las lámparas fluorescentes. La buena disposición de estos desechos comprende la recolección, el manejo, el tratamiento y la disposición final de los elementos que componen las lámparas fluorescentes; la disposición adecuada de estos desechos disminuiría la cantidad de mercurio (Hg) emitido al ambiente. El mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es la forma de mayor preocupación, casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio. Se realizó un estudio empírico con metodología cuantitativa. También como parte del estudio descriptivo mediante un código arbitrario de observación tipo estructurada. La investigación se lleva a cabo en el contexto habitual en el que se produce el fenómeno, pero el investigador introduce modificaciones para maximizar la probabilidad de aparición de dicho fenómeno. Se evaluaron 32 edificios que contienen grandes cantidades de luminarias, comprendidos en cinco departamentos de El Salvador.

Se evaluó la emanación de mercurio elemental con una bomba automática Dräger X-Act 5000, que tiene un rango de medición desde 0.05 mg/m³ hasta 2 mg/m³, en los sitios visitados, en los cuales hubo reacción ante el tubo colorimétrico CH 101-23 en la mayoría de lugares visitados, demostrando así la emanación hacia la atmósfera, suelo y agua en algunos lugares. Algunas lámparas fluorescentes emiten mercurio a la atmósfera sin necesidad de estar rotas.

Palabras clave: mercurio, bioacumulable, biomagnificación.

Introducción

En 1896, Thomas Alva Edison, desarrolló su versión de lámpara fluorescente eléctrica, la cual catalogó como ineficiente a la vez que fue difícil de reproducir en serie. Luego en la década de 1920, la ineficiencia de las lámparas continuó debido a la falta del fósforo apropiado y de una fuente de radiación ultravioleta. Al comienzo de la década de 1930, se descubrieron fósforos que eran factibles y con el advenimiento de las lámparas de vapor de mercurio que resultaron ser una fuente eficiente de radiación ultravioleta. Las lámparas fluorescentes también se colocaron como una novedad en la Feria Mundial de Chicago en 1938 y fue en Nueva York donde estuvieron disponibles para el público en abril de 1938 (Flavin, 2008). Se estima que desde 1940 a la fecha se ha importado y ocupado la lámpara fluorescente en El Salvador como fuente de luz artificial.

Según la unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos del MARN, a diciembre del 2014, no se tienen registros sobre las cantidades de mercurio o materias primas que contienen este elemento, por no estar regulada esta sustancia en la Ley del Medio Ambiente, la importación de ese tipo de productos. Entre los convenios que regulan el mercurio, en el marco internacional, se encuentra el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, el cual está abierto a la firma y ratificación para los países interesados. A la fecha El Salvador no es signatario de éste, por lo que no es de aplicación nacional.

En 1990, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA, declaró a las lámparas fluorescentes inservibles, como desechos peligrosos que deberían tener un manejo más estricto y riguroso, debido al contenido de mercurio y otros elementos tóxicos según la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos. El elemento mercurio es el más perjudicial de todos los metales; no es esencial para ningún proceso metabólico y es bioacumulable en la mayoría de los seres vivos (UGR, 2013).

La contaminación por las lámparas fluorescentes que contienen mercurio comienza cuando éstas son rotas o recolectadas por camiones no aptos para su transporte y luego depositadas en los rellenos sanitarios. Cuando los lixiviados se ponen en contacto con lámparas fluorescentes, estos se contaminan con mercurio (Hg). Luego los lixiviados, al infiltrarse en el

suelo, son capaces de alcanzar aguas subterráneas, las cuales llegan a cursos de aguas superficiales; y luego el agua es ocupada para usos múltiples (Angulo & Romero, 2006).

La cantidad de mercurio en el medio ambiente ha aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. Este elemento se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente en el pescado) en todas partes del mundo a niveles que causan efectos adversos a los seres humanos y en la vida silvestre. La actividad humana ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio (OMS, 2013). El mercurio tiene un ciclo en el ambiente, en el que continuamente recircula en diferentes medios, en los que se dan las reacciones de metilación, ya que tiene tres estados de oxidación (0, +1, +2) por medio de procesos biológicos y la bioacumulación en los diferentes organismos vivos a través del aire, el agua y los alimentos (O'Neill, 1993).

La transición entre compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio y fases (estado sólido, disuelto en agua o vapor en la atmósfera) son controladas por muchos procesos ambientales. El mercurio atmosférico puede incorporarse fácilmente a los sistemas orgánicos y al agua por deposición (UGR, 2013). Una vez depositado, el mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). Casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio (UGR, 2013).

Para El Salvador es necesario tener un inventario de las sustancias que contienen mercurio y firmar el convenio de Minamata que regula su importación. También es necesario separar la basura común de los desechos peligrosos, para darle tratamiento a todos los desechos que contienen mercurio a través de remediación térmica. Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren tratamiento; las destructivas

producen residuos sólidos (cenizas) y también líquidos que requieren tratamiento o disposición. Para los dos tipos de tratamiento, el volumen de residuos generado que requiere tratamiento o disposición es mucho menos que el inicial (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997). La disposición final del mercurio extraído por remediación térmica, debe hacerse a gran profundidad, en suelos que sean impermeables y no de alto riesgo por los cambios climáticos, como sucede con los de El Salvador.

Objetivos de la investigación

Analizar los tratamientos actuales a los desechos que generan las lámparas fluorescentes. Realizar propuesta de la disposición final de las lámparas e identificar los materiales reutilizables.

Lámparas fluorescentes, historia de la lámpara

Francis Hawksbee fue un científico inglés del siglo XVIII; descubrió que poniendo una pequeña cantidad de mercurio en el cristal del generador de *Von Guericke* y evacuando el aire de este, y hacerlo girar gradual y rápidamente, emanaba luz brillante de su interior. Este brillo es similar al fenómeno conocido como “Fuego de San Elmo”; este brillo extraño era visto alrededor de barcos durante las tormentas eléctricas (Araujo, 2008).

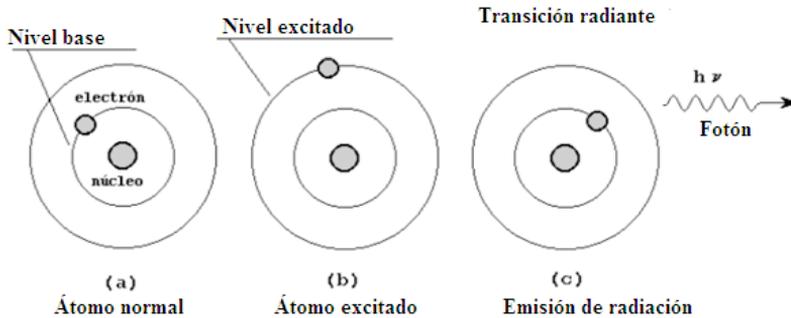
El físico irlandés George Stokes, en el siglo XIX, acuñó el término *fluorescencia* después de observar el fenómeno en el compuesto fluorita, publicando luego la primera ley para manejar el estudio de la fluorescencia, gran parte de la cual aún permanece como verdadera. En 1859, el físico francés Alexander Edmond Becquerel describió una lámpara fluorescente como un tubo de vidrio que contenía compuestos fluorescentes y otros gases, construyendo la primera lámpara fluorescente en 1867 (Flavin, 2008).

Formas de producción de la radiación luminosa

Todas las fuentes de luz artificial implican la conversión de alguna forma de energía en radiación electromagnética. Este es un proceso físico que se da a nivel atómico; la excitación y subsiguiente desexcitación de átomos o

moléculas es el proceso más empleado para la generación de luz en las fuentes artificiales (O'Donell, Sandoval, & Paukste, s/f).

Figura 1. Excitación atómica y emisión espontánea de radiación (O'Donell, Sandoval, & Paukste, s/f)



En la figura 1 se muestra, en la parte (a) un átomo consistente en un núcleo con un electrón girando alrededor de él en una órbita estable; el átomo es excitado mediante el choque con alguna otra partícula, de modo que el electrón se mueve a otra órbita con un nivel de energía mayor, como se muestra en (b); luego, el electrón en estado excitado caerá espontáneamente a su órbita estable como en la parte (c) de la figura, devolviendo en esta desexcitación el exceso de energía en forma de un fotón o unidad de luz. Este fenómeno se conoce como *emisión de radiación* (O'Donell, Sandoval, & Paukste, s/f).

Lámparas de descarga

Se denominan *lámparas de descarga* a todas aquellas fuentes luminosas cuyo principio de funcionamiento consiste en generar luz mediante una descarga eléctrica, producida entre dos electrodos situados en el interior de un tubo lleno de gas; a diferencia de las lámparas incandescentes en las que la luz emitida se debe a las altas temperaturas alcanzadas en el filamento. Las lámparas de descarga se pueden clasificar en distintos tipos según el gas utilizado y la presión a la que se encuentre en el interior del tubo de descarga (ELT, 2006).

Clasificación de lámparas de descarga de acuerdo con el gas que utilizan (vapor de mercurio o sodio)

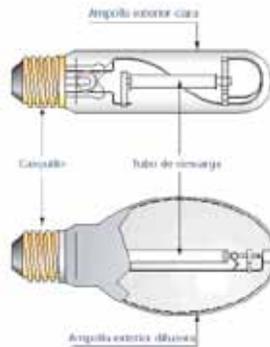
Lámparas de vapor de mercurio:

- Baja presión: lámparas fluorescentes (0.8 Pascales de presión).
- Alta presión: lámparas de vapor de mercurio a alta presión (de 1 hasta 10 atm) (Inti, 2014).

Tabla 1. Tipos de lámparas (Martínez, Mallo, Lucas, Alvarez, Slavarrey, & Gristo, 2005)

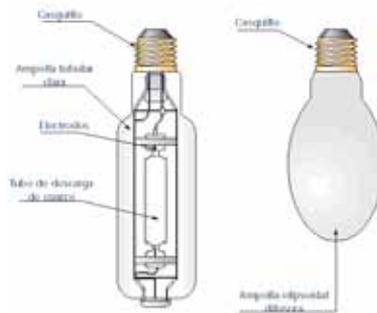
| Tipo de lámpara | Diseño | Material | gramos/ unidad |
|---|--------|--|--|
| Lámparas de vapor de mercurio de alta presión (peso medio 300g) | | Mercurio Plomo Itrio Tierras raras Antimonio Bario Estroncio | 0.06 1.5 0.36 0.039 0.0 0.006 0.15 |
| Lámparas fluorescentes (peso medio 200g) | | Mercurio Plomo Itrio Tierras raras Antimonio Bario Estroncio | 0.035 0.0104 0.126 0.08 0.03 0.06 0.28 |

Lámparas de sodio de alta presión (peso medio 300g)



| | |
|---------------|-------|
| Mercurio | 0.06 |
| Plomo | 0.6 |
| Itrio | 0.012 |
| Tierras raras | 0.003 |
| Antimonio | 0.0 |
| Bario | 0.126 |
| Estroncio | 0.09 |

Lámparas de halogenuros metálicos (peso medio 150g)



| | |
|---------------|--------|
| Mercurio | 0.045 |
| Plomo | 0.45 |
| Itrio | 0.105 |
| Tierras raras | 0.0045 |
| Antimonio | 0.0 |
| Bario | 0.003 |
| Estroncio | 0.0015 |

Una característica común a las lámparas de descarga es que no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación sin un dispositivo que controle la intensidad de corriente que circule por ellas. El dispositivo es lo que habitualmente se conoce como *reactancia* o *balasto*. Este proporciona la tensión necesaria para el encendido de la lámpara y limita la corriente que circula por las lámparas a los valores exigidos para un funcionamiento adecuado (ELT, 2006).

Las lámparas fluorescentes son activadas por vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa); son fuentes luminosas a consecuencia de una descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, en las que la luz se genera por el fenómeno de la fluorescencia. Este fenómeno consiste en que determinadas sustancias luminiscentes, al ser excitadas por la radiación ultravioleta invisible del vapor de mercurio a baja presión, transforman esta radiación en otra radiación visible. La lámpara fluorescente normal consta de

un tubo de vidrio de diámetro y longitud variada según la potencia, recubierto internamente de una capa de sustancia fluorescente (Inti, 2014).

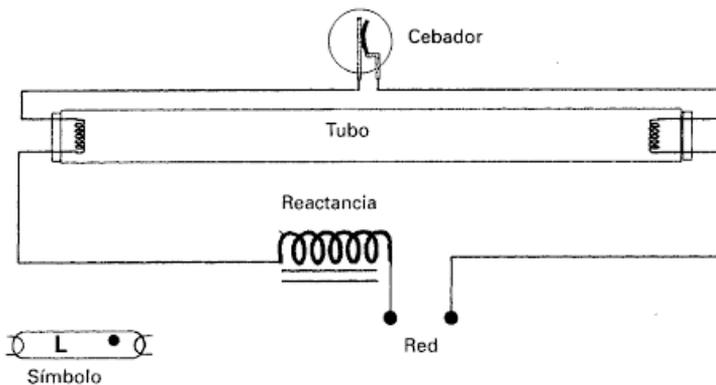
Funcionamiento

Actualmente, alrededor del 19 % de la energía consumida en el mundo está destinada a los sistemas de iluminación, tal como lo estimó la AIE en 2007.

El mecanismo de generación de luz visible de las lámparas fluorescentes es el siguiente:

Conectada la lámpara en su circuito eléctrico correspondiente, la corriente que atraviesa los cátodos los calienta y emiten electrones. Una vez que se ha establecido en el interior de la lámpara la nube de electrones susceptibles de movimiento, se aplica una sobretensión entre los extremos de la lámpara (Martínez, 1998).

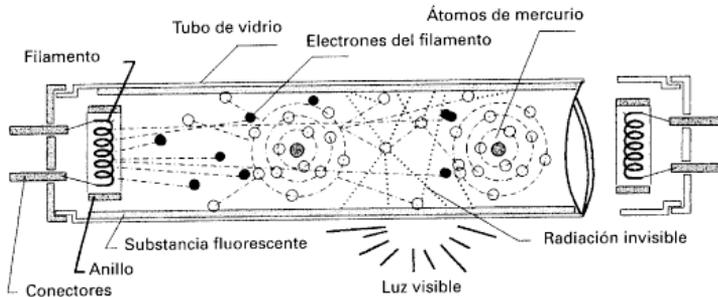
Figura 2. Equipo de encendido para un tubo fluorescente normal (Martínez, 1998)



En los extremos del tubo se encuentran los cátodos de wolframio impregnados de una pasta emisora de electrones. Los electrones pasan de un cátodo a otro a través de la atmósfera de argón del interior del tubo, iniciándose la descarga. El calor producido por la descarga evapora rápidamente el mercurio, por lo que la descarga se mantiene en una atmósfera de mayor conductividad, mezcla del gas argón y del vapor de mercurio. Los electrones, en su recorrido

de un cátodo al otro, chocan con los átomos de mercurio, desprendiendo una energía que se transforma en radiación ultravioleta invisible capaz de excitar la sustancia fluorescente de la capa que recubre interiormente el tubo, convirtiéndose en luz visible (Martínez, 1998).

Figura 3. Funcionamiento de tubo fluorescente (Martínez, 1998)



Los polvos de halofosfatos usados en las lámparas fluorescentes contienen diversos metales; la excitación de estos ocurre en los iones antimonio; una parte de la energía es radiada en los mismos iones, emitiendo radiación color azul que, luego de la relajación, la otra proporción de energía es transferida a los iones de manganeso, produciendo esto una emisión de color naranja. Entonces el ion manganeso es activador, mientras que el ion antimonio es sensibilizador o activador primario. Casi todos los fósforos que recubren el interior de las lámparas fluorescentes y de descarga convierten la radiación ultravioleta, generada por la descarga en el gas, en radiación visible a través de estos procesos (O'Donnell, Sandoval, & Paukste, 2006).

Tabla 2. Elementos contenidos en el polvo fluorescente de la lámpara (EPA, 1994)

| Elemento | Concentración |
|-----------|--|
| | (mg de elemento/kg de polvo fosfatado) |
| Aluminio | 3,000 |
| Antimonio | 2,300 |
| Bario | 610 |
| Cadmio | 1,000 |

| | |
|-----------|---------|
| Calcio | 170,000 |
| Cromo | 9 |
| Cobalto | 2 |
| Cobre | 70 |
| Hierro | 1,900 |
| Plomo | 75 |
| Magnesio | 1,000 |
| Manganeso | 4,400 |
| Mercurio | 4,700 |
| Níquel | 130 |
| Potasio | 140 |
| Sodio | 1,700 |
| Zinc | 48 |

Radiación ultravioleta

Efecto biológico de la radiación ultravioleta

Las lámparas fluorescentes no deben emitir ninguna radiación que pueda resultar peligrosa para las personas, ya sea de inmediato o a largo plazo. En el caso de algunas descargas de gases, principalmente las de vapor de mercurio, poseen por naturaleza un porcentaje de radiación ultravioleta. Por esta misma razón las lámparas fluorescentes llevan mercurio, que les permite generar esa radiación para activar el polvo fluorescente de las lámparas (Indalux, 2002). Estas radiaciones ultravioletas se puede clasificar en:

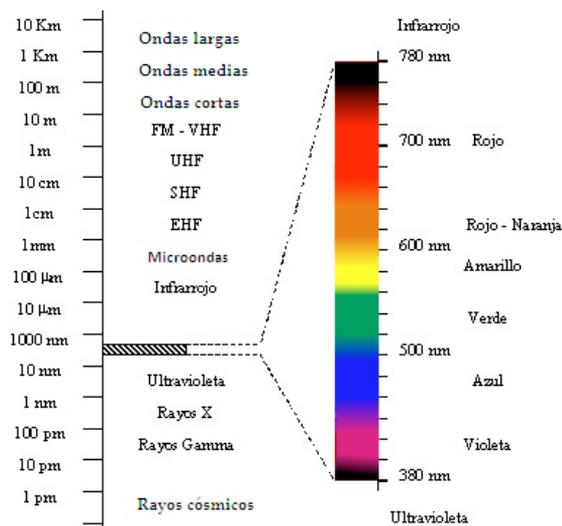
Tabla 3. Radiaciones ultravioletas (Indalux, 2002)

| Ultravioleta | Onda | Efecto |
|--------------|---|---|
| UV-A | Bronceadora o de onda larga (entre 315 y 380 nm) | |
| UV-B | Antirraquítica o de onda media (entre 280 y 315 nm) | Favorece en el cuerpo la producción de la vitamina D. |

| | | |
|------|--|---|
| UV-C | Bactericida o de onda corta (entre 200 y 280 nm) | Destruye gérmenes y materia orgánica. Estos efectos se pueden aumentar por la debilitación de la capa de ozono de la atmósfera. |
| UV-C | Ozonífera o de onda corta (entre 100 y 200 nm) | Esta radiación es capaz de crear ozono de las mismas características que el existente en la atmosfera. |

La radiación ultravioleta se detecta fácilmente al presentar una gran actividad fotoquímica y fotoeléctrica. Aunque, al absorberse, la radiación ultravioleta produce alguna cantidad de calor, su magnitud es tan pequeña que, a efectos prácticos, puede considerarse inexistente. El efecto fotoeléctrico se produce por la capacidad de la radiación UV de producir electrones al incidir sobre determinadas sustancias. El UV produce fluorescencia al incidir sobre determinadas sustancias que, al ser iluminadas, transforman estas radiaciones en otras de mayor longitud de onda, correspondiente a cualquiera de los colores del espectro de luz visible (Sendra, 2013).

Figura 4. Luz visible. Longitudes de onda entre 380 y 780 nm (Junta de Extremadura, 2015)



Lámparas fluorescentes tubulares

Se denominan *lámparas fluorescentes tubulares* o *lineales* a aquellas lámparas fluorescentes que presentan el tubo de descarga en forma rectilínea, aunque también se encuentran dentro de esta denominación las lámparas en formas de “U” o circulares. Los diámetros de dichos tubos son 7, 16, 26 (T8) y 38 mm (T12), su eficacia lumínica (cantidad de luz por vatio de potencia) se encuentra entre los 50 y 100 lm/W, dependiendo del tipo de lámpara (General Electric, 2014); (Cook, 1998).

La vida media de las lámparas fluorescentes está en torno a las 10.000-12.000 horas, aunque su vida útil se puede estimar entre las 5.000 y 7.500 horas, tras cuyo periodo se evidencia su depreciación en el flujo luminoso (General Electric, 2014).

Lámparas fluorescentes compactas

Se denominan *lámparas fluorescentes compactas* a las formadas por un tubo estrecho, de entre 10 y 16 mm de diámetro, doblado en forma de “U”, al que se le han unido los extremos para obtener dimensiones reducidas. Al reducir las dimensiones de las lámparas a tamaños semejantes a las bombillas incandescentes, o algo mayores, permite ser utilizadas en alojamientos donde las lámparas lineales de potencias iguales no caben (Martínez, 1998). Su vida media y vida útil son algo inferiores a la de las lámparas lineales.

Lámparas de vapor de mercurio

Constitución

Están formadas por un tubo interior, normalmente de cuarzo, capaz de soportar las elevadas temperaturas ocasionadas por el arco de descarga. En su interior hay mercurio y pequeñas cantidades de gases nobles a una presión de entre 1 y 10 atmósferas. En los extremos del tubo se encuentran los electrodos de wolframio impregnados de sustancia emisora de electrones. Próximo a uno de los electrodos hay un tercer electrodo auxiliar de encendido, conectado a través de una resistencia óhmica de alto valor (Indalux, 2002).

La ampolla exterior es de vidrio duro, resistente a los cambios bruscos de temperatura, que sirve para aislar térmicamente el tubo de descarga y para proteger las partes metálicas de la oxidación. Interiormente está recubierta de una sustancia fluorescente encargada de convertir en visible la radiación ultravioleta generada por el arco (Martínez, 2003).

Las lámparas con contenido de mercurio siguen siendo el modelo de lámparas de bajo consumo. Para reducir la cantidad de mercurio en cada lámpara, en julio de 2008 ya se vendían lámparas con bajo contenido de mercurio (de 3 a 5 mg de mercurio en lugar de 20 a 40 mg). Hay señales de que en los próximos años se dispondrá de productos sustitutivos sin mercurio económicamente viables (PNUMA, 2013).

Riesgos con la radiación UV emitida por las LFC

La exposición a la luz brillante y la luz de alta temperatura de color se debe evitar en la noche. La propiedad de las lámparas fluorescentes compactas (LFC) que pudieran suponer un riesgo de salud es la luz ultravioleta y la azul emitidas en las longitudes de ondas cortas (por debajo de 530 nm), ya que su luz puede retrasar el ritmo circadiano de los mamíferos, y esto puede reducir la secreción de melatonina. Bloquear la luz azul para la reducción del riesgo en las personas que ya padecen enfermedades de la piel es necesario, porque pueden agravar sus síntomas. La disminución en la producción de melatonina en humanos y animales causada por la iluminación ambiental e iluminación de longitud de onda especialmente corta (entre 470 y 525 nm) se ha demostrado que se asocia a un mayor riesgo de cáncer. (Kayumov, Lowe, Rahman, Casper, & Shapiro, 2007).

En ensayos realizados a una reducida cantidad de lámparas para medir su emisión de radiación ultravioleta (UV), estas presentaron picos de emisión UV en 365 nm. Por lo que esto sería riesgoso para la salud cuando se usa muy cerca del usuario, por tiempo prolongado. Se puede mencionar que en el caso de otra de las lámparas el pico fue de 365 nm es mayor que el de 485 nm (azul), tanto para lámparas nuevas como para 1000 horas de uso (Echazú & Cadena, 2012).

En un experimento con once participantes en el que se tomaron los niveles de melatonina durante tres días no consecutivos durante dos semanas

utilizando lentes de filtro óptico, se demostró que nueve conservaron los niveles de melatonina en la luz filtrada similar a su perfil de secreción en luz tenue. Con luz filtrada, los participantes tuvieron una cantidad relativa media de melatonina de 91,2 ($P > 0,05$). Al experimentar con luz brillante sin filtrar, esta exposición suprimió drásticamente la producción de melatonina con una cantidad relativa media de la melatonina de 25,4 ($p < 0,05$). Una solución práctica y rentable para evitar el aumento de tasas de tumores malignos en trabajadores expuestos a luz de longitud de onda baja ha sido el usar lentes bloqueadores para que no llegue a la retina (Kayumov, Lowe, Rahman, Casper, & Shapiro, 2007).

Tratados, control y registro de mercurio en El Salvador

Según información brindada por la unidad de desechos sólidos y peligrosos del MARN a diciembre del 2014, no se tienen registros sobre las cantidades de mercurio o materias primas que contienen este elemento, por no estar regulada esta sustancia en la Ley del Medio Ambiente la importación de ese tipo de productos. Los convenios que regulan el mercurio, en el marco internacional se encuentra el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, el cual está abierto a la firma y ratificación para los países. A la fecha El Salvador no es signatario del mismo, por lo que este instrumento no es de aplicación nacional, ya que el mercurio no se encuentra en el listado de sustancias reguladas, sustancias peligrosas que para su importación y transporte no requieren elaborar un estudio de impacto ambiental de conformidad a los artículos 57 y 60 de la Ley del Medio Ambiente del MARN.

Importaciones anuales de lámparas fluorescentes y mercurio a El Salvador.

En El Salvador se venden varios tipos de luminarias que contienen mercurio entre las que se encuentran las lámparas fluorescentes lineales, fluorescentes circulares, compactas fluorescentes, de sodio de alta presión y de mercurio. Con respecto a las importaciones de productos o insumos que contienen mercurio, en la Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos del MARN, no tiene registros sobre las cantidades de ese tipo de materiales o materias primas, por no estar regulada la importación de ese tipo de productos en acuerdo ejecutivo N° 151 de productos prohibidos de fecha 27 de junio del 2000 de la ley de sanidad vegetal y animal decreto N° 254.

Figura 5. Importaciones anuales de lámparas fluorescentes lineales de los últimos doce años (Banco Central de Reserva & Ministerio de Hacienda-Dirección General de Aduanas, 2014)

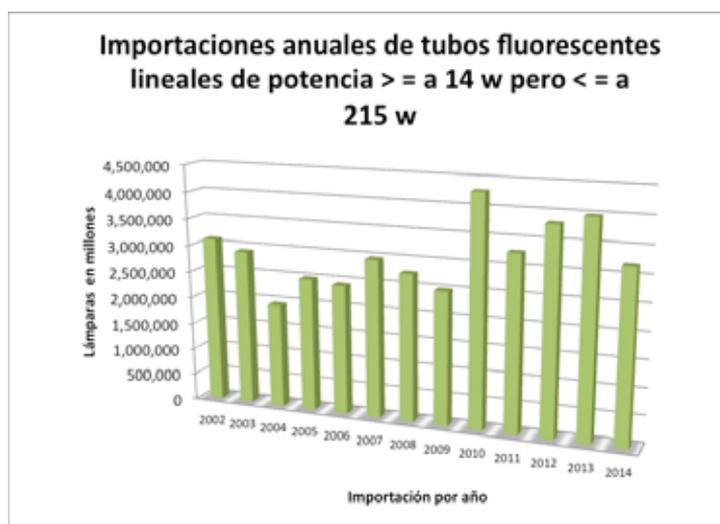


Figura 6. Importaciones de lámparas fluorescentes circulares de los últimos once años (Banco Central de Reserva & Ministerio de Hacienda-Dirección General de Aduanas, 2014)

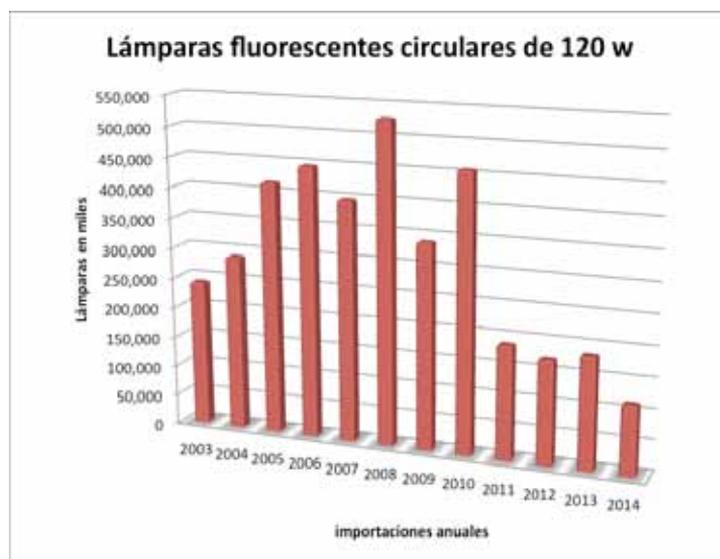
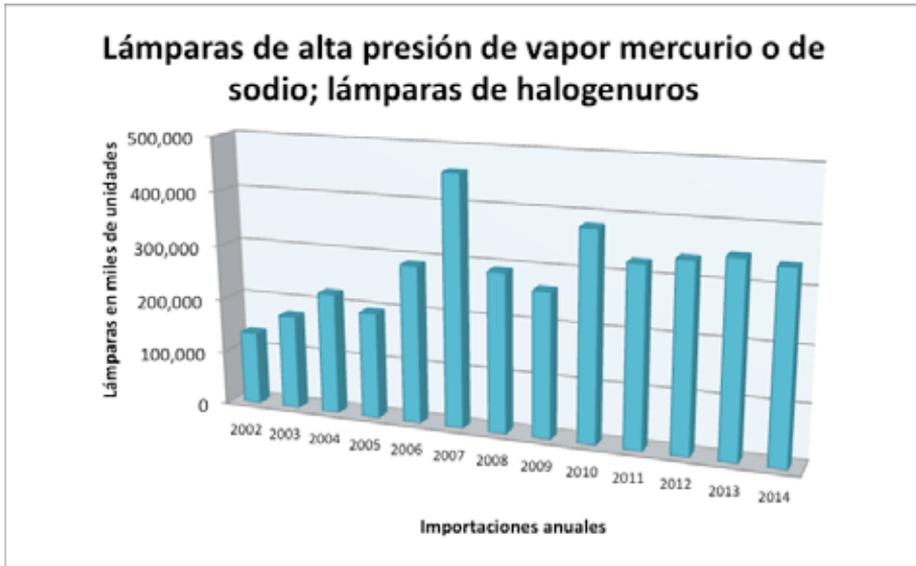


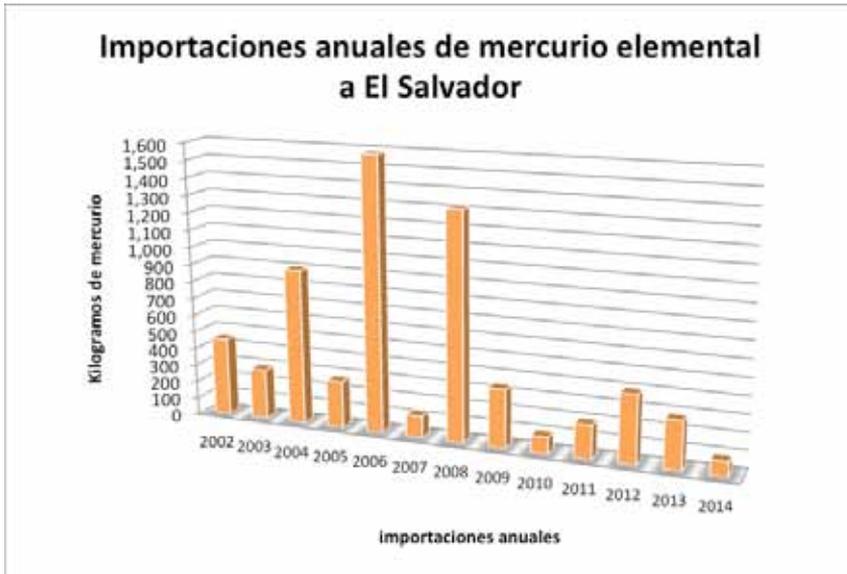
Figura 7. Importaciones anuales de lámparas de alta presión de vapor de sodio o mercurio; lámparas de halogenuros (Banco Central de Reserva & Ministerio de Hacienda-Dirección General de Aduanas, 2014)



Importaciones anuales de mercurio elemental a El Salvador

El consumo de mercurio en El Salvador en los últimos doce años ha sido variable. Entre los usos que se le da al mercurio está para formar amalgamas dentales, para la minería artesanal del oro, en laboratorios (mertiolate, mercurocromo, tiomersal y otros) y para venta libre como medicina para la indigestión, siendo ingerida por niños y adultos. En El Salvador no se ocupa el mercurio para fabricar lámparas fluorescentes, ya que no existe ninguna empresa fabricante de estas.

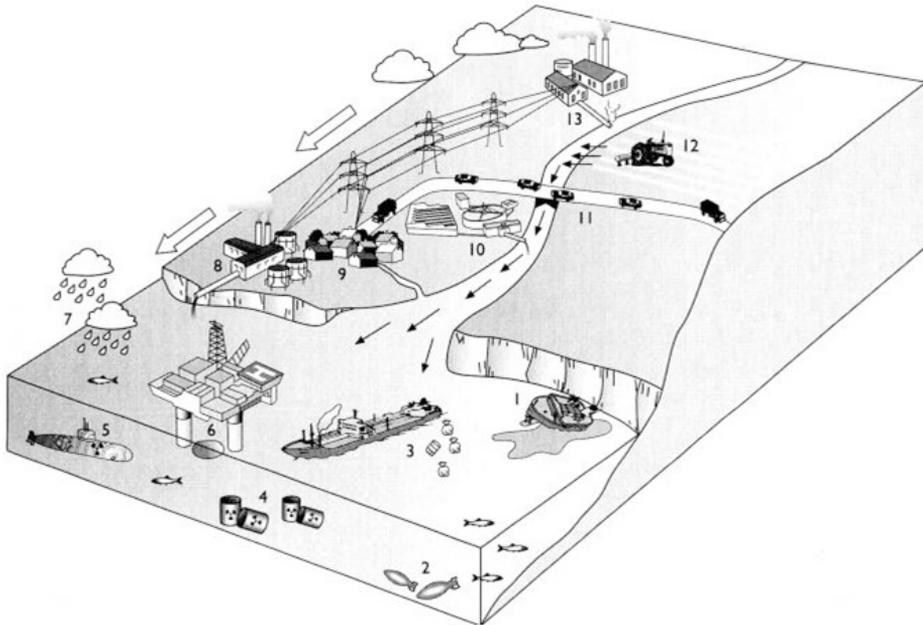
Figura 8. Importaciones anuales de mercurio elemental a El Salvador (Banco Central de Reserva & Ministerio de Hacienda-Dirección General de Aduanas, 2014)



El mercurio en el medio ambiente

“El mercurio metálico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza en concentraciones muy bajas. En la tierra no contaminada, las concentraciones de mercurio varían de 30 a 500 partes por billón (ppb), con un promedio de aproximadamente 100 ppb. Para la mayoría de las rocas, el contenido de mercurio varía de 10 a 20.000 ppb. Salvo condiciones geológicas especiales o donde las fuentes antropogénicas llevan a aumentos, las aguas superficiales en general contienen menos de 0.1 ppb de mercurio total; y el agua de mar, promedios de 0,1 a 1,2 ppb de mercurio” (EPA, 1997). Algunos materiales, como los metales pesados, no están sujetos a ataque bacteriano, no se dispersan, pero reaccionan con las plantas y los animales, a veces con efectos nocivos. Debido a su persistencia y efectos nocivos, se les considera una amenaza muy seria para el ambiente (mercurio, cobre, plomo, zinc, y otros metales pesados) (Clark, 2001).

Figura 9. Desechos que llegan al medio marino a partir de una gran variedad de fuentes. (N° 7. Lavado de contaminantes atmosféricos que incluye metales pesados e hidrocarburos) (Clark, 2001)



Presencia del mercurio en todo el medio ambiente

Los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El mercurio se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio (OMS, 2013).

Emisiones de mercurio por lámparas fluorescentes

En 1990, la EPA emitió la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, mediante la cual se identificó a las lámparas fluorescentes caducadas como desechos peligrosos que deberían tener un manejo más estricto y riguroso; esto debido al contenido de mercurio y otros elementos peligrosos.

El proceso por el que el mercurio de las lámparas fluorescentes se introduce al medio ambiente, inicia cuando las lámparas son rotas, al depositarlas de forma inadecuada en los basureros o al ser recolectadas por camiones no aptos para el transporte de este tipo de desechos; y en los rellenos sanitarios, cuando los lixiviados que se generan están en contacto con lámparas fluorescentes, contaminan los lixiviados con mercurio. Los lixiviados, al infiltrarse en el suelo, son capaces de alcanzar aguas subterráneas, las cuales llegan a cursos de aguas superficiales; y luego el agua es ocupada para usos múltiples (Angulo & Romero, 2006).

Emisiones al aire

El mercurio, una vez liberado, circula entre el aire, el agua, el suelo y la biota en diversas formas. Las emisiones actuales se añaden al mercurio ya existente en el mundo; este sigue movilizándose, depositándose y moviéndose nuevamente en el medio ambiente. La mayoría de mercurio liberado al aire es en forma de elemental gaseoso; también se libera en forma de mercurio gaseoso, inorgánico, iónico o en partículas, estas tienen un periodo de vida más corto y se depositan en masas de agua o en tierras a distancia de entre 100 a 1000 km (PNUMA, 2002).

Ciclo biogeoquímico del mercurio

El elemento mercurio es el más tóxico de todos los metales; no es esencial para ningún proceso metabólico y se acumula en la mayoría de los seres vivos. La transición entre compuestos orgánicos e inorgánicos y fases (estado sólido, disuelto en agua o vapor en la atmósfera) son controladas por muchos procesos ambientales. El mercurio atmosférico puede incorporarse fácilmente a los sistemas orgánicos y al agua por deposición (UGR, 2013).

Figura 10. Especies de mercurio en aire, agua, suelo y sedimento (O'Neill, 1993)

| Medio | Especie | Fuente y estado |
|-------------------|--|---|
| Aire | Hg^0 | Natural y antropogénico |
| | $CH_3-Hg-CH_3$ | Fuentes biológicas en suelo, pantanos, aguas frescas y océano |
| Agua | $(HgCl_2)$ | Rocio del océano |
| | Hg^{2+} $Hg^{2+} + Hg^0$ CH_3-Hg^+ | Incluye iones complejos e hidratados Ingerido por plancton y peces, etc. |
| Suelo y sedimento | En sedimentos | Insoluble, formado bajo condiciones anaerobias |
| | CH_3Hg^+ $CH_3-Hg-CH_3$ | Condicionas aerobias o anaerobias Condicionas aeróbicas con PH alto |

Una vez depositado, el mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es la forma de mayor preocupación. Casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio (UGR, 2013). El destino, características del transporte y de toxicidad del mercurio pueden ser

significativamente afectados por la fase física y de la especiación química. En consecuencia, es importante que estos parámetros se tomen en cuenta cuando se estudia el ciclo del mercurio en el medio ambiente (Constantinou, Gerath, Mitchell, & Seigneur, 1995).

El mercurio puede someterse a transformaciones químicas mediante la reacción con otras especies presentes en el mar o en la atmósfera. Simulaciones con ordenador sugieren que la vida media del mercurio elemental podría ser del orden de horas para la reacción con Cl_2 en la nocturna capa marina y para las reacciones con oxidantes, tales como H_2O_2 en la atmósfera ambiente. En fase acuosa, las reacciones pueden ocurrir en la lluvia, nube, niebla o agua. Estas reacciones implican la oxidación de Hg^{+2} y reducción de Hg^{+2} a Hg y por oxidación con los ácidos orgánicos y la formación de compuestos órgano-mercuriales (metilmercurio) (Seigneur, Wrobel, & Constantinou, 1994).

Efectos graves a la exposición al mercurio

El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo (fetos e infantes). El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta (Barbosa, De Sousa, Do Rea, Jardim, & Fadini, 2003).

El metilmercurio tiene efectos adversos para muchos organismos vivientes. Este compuesto atraviesa rápidamente la barrera placentaria y la hematoencefálica, y es un neurotóxico que puede afectar el desarrollo del cerebro. También, algunos estudios indican, que los pequeños aumentos en la exposición al metilmercurio pueden afectar negativamente al sistema cardiovascular (Montenegro & Nicolalde, 2012). Otro estudio sobre un compuesto inorgánico de mercurio (cloruro de mercurio) demostraron a través de experimentos en ratas, la necrosis tubular aguda (NTA, células renales dañadas por un tóxico o una sustancia dañina) por cloruro de mercurio (Hernández-Pando, Pedraza - Chaverri, Orozco-Estévez, Silva-Serna, Moreno, Rondán-Zárate,...Larriva-Sahd, 1995).

El mercurio en el hombre y la naturaleza

Usos del mercurio

Según el grado de contaminación local con mercurio, la ingesta total de mercurio por el agua y el aire pueden aportar otras cantidades sustanciales. El uso de mercurio con ciertos fines religiosos, culturales y rituales, su uso en algunas medicinas tradicionales y en el hogar y el medio ambiente de trabajo, puede dar lugar a aumentos sustanciales de la exposición humana (Montenegro & Nicolalde, 2012; PNUMA, 2013). El mercurio metálico se usa para producir gas de cloro y sosa cáustica, y también se utiliza en termómetros, empastes dentales, y en las baterías para reloj. Las sales de mercurio se utilizan a veces en cremas para aclarar la piel, antisépticos y pomadas (ASTDR, 2012).

Se produce también exposición por el uso de vacunas y otros productos farmacéuticos que contienen preservantes de mercurio (como el timerosal o tiomersal). Se ha notificado niveles elevados de mercurio elemental en el entorno de trabajo de plantas de cloro álcali, minas de mercurio, fábricas de termómetros, refinерías, clínicas dentales, y en la minería y el procesamiento del oro y la plata extraídos con mercurio (OMS, 2013).

Las emisiones de mercurio al medio ambiente han aumentado considerablemente como resultado de actividades antropogénicas. Las mediciones oceanográficas de mercurio disuelto total y los parámetros relacionados de varias expediciones al Atlántico, Pacífico Sur y Ártico. Se encontró que aguas profundas del Atlántico Norte y la mayoría de las aguas intermedias están anómalamente enriquecidas en mercurio en relación con las aguas profundas del Atlántico Sur, y Pacífico Sur, probablemente como resultado de la incorporación de mercurio antropogénico (Lamborg, Hammerschmidt, Bowman, Swarr, Munson, Ohnemus,...Saito, 2014). Esto contradice el estudio “Localización y estimación de las emisiones atmosféricas provenientes del mercurio y compuestos de mercurio” realizado por EPA en 1997 que se mencionó anteriormente.

Se ha calculado que la cantidad total de mercurio antropogénico presente en los océanos del mundo puede ser de 290 ± 80 millones de moles,

de los que casi dos tercios residen en aguas de menos de mil metros de profundidad. Estos hallazgos sugieren que las perturbaciones antropogénicas del ciclo global del mercurio han llevado a un aproximado de 150 % de aumento en la cantidad de mercurio en las aguas de la termoclina, y se ha triplicado el contenido de mercurio de las aguas superficiales de los mares en comparación con condiciones preantropogénicas. Esta información puede ayudar a la comprensión de los procesos y las profundidades en las que las especies de mercurio inorgánico se convierten en metilmercurio tóxico y posteriormente se vuelve bioacumulable en la cadena alimentaria marina (Lamborg, et al., 2014).

El pescado y el marisco son una parte importante de una dieta saludable. Sin embargo, casi todos estos contienen algunos rastros de mercurio. Para muchas personas, existe el riesgo de ingerir el mercurio proveniente del pescado y del marisco. El mercurio puede perjudicar a los fetos o el sistema nervioso en vías de desarrollo de un niño pequeño. Los riesgos del mercurio en el pescado y el marisco dependen de la cantidad que se consume, y de los niveles del mercurio en estos (EPA & FDA, 2004).

Principales fuentes de liberación de mercurio

Fuentes de emisión

Entre las diversas fuentes de emisión de mercurio se encuentran las centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles. Esto requiere atención especial, por las características particulares de este elemento (por ejemplo, alta tendencia bioconcentración en los peces). El mercurio es una sustancia química cuyo comportamiento es particularmente sensible a las condiciones ambientales, y sobre todo a las características del medio acuático. (Constantinou, Gerath, Mitchell, & Seigneur, 1995).

Los minerales extraídos, el tratamiento y reciclado de minerales en menor medida; el gas y el petróleo; el uso del mercurio en productos y los procesos durante la fabricación; la eliminación de productos agotados y que contienen mercurio. Los altos niveles de nutrientes y materias orgánicas en las masas de agua influyen en la metilación y la bioacumulación; también las inundaciones pueden contribuir a que el mercurio se desprenda por erosión del

suelo en las capas de la corteza que lo contienen (Shrock, Bowser, Mayhew, & Stevens, 2001) (Prestbo & Bloom, 1995).

Una gran parte del mercurio presente en estos momentos en la atmósfera es el resultado de muchos años de emisiones antropógenas. Estudios recientes indican que de las aproximadas 200,000 toneladas de mercurio emitidas a la atmósfera desde 1890, aproximadamente el 95 % se encuentra en suelos terrestres, alrededor de un 3 % en aguas oceánicas y un 2% en la atmósfera. También se estima que entre el 40 y el 75 % del mercurio atmosférico actual tiene como origen las acciones del hombre (Martínez, 2004). Es difícil calcular el componente principal de la carga total en la atmósfera, aunque los datos disponibles parecen indicar que las actividades antropógenas han incrementado los niveles de mercurio en la atmósfera. El mercurio se sigue desprendiendo de los lugares industriales muy contaminados, como minas, plantas de cloro-alcalino, vertederos e incineradores de basura (PNUMA, 2002).

Fuentes antropogénicas

Los combustibles fósiles, en particular el carbón, para la producción de energía eléctrica; las prácticas de eliminación de desechos; la combustión de hidrocarburos; la producción de cemento; actividades metalúrgicas que comprenden materiales minerales como la producción de hierro y acero, zinc y oro liberan mercurio durante su procesamiento. La minería utiliza mercurio para la extracción del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros y otros instrumentos; amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio; el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen mercurio y la cremación (OPS, 2013).

En un informe preparado para la EPA por RTI de la Oficina de Desechos Sólidos titulado “Lámparas fluorescentes: Evaluación preliminar de riesgo”, se estima que aproximadamente 600 millones de lámparas se disponen cada año en EE.UU. Actualmente, la mayor parte de las lámparas están dispuestas de manera inadecuada; el 82 % de las lámparas se depositan

en vertederos; el 16 p% son incineradas, y sólo el 2 % son recicladas según estimaciones (EPA, 1994).

En 1980, la EPA determinó que el mercurio puede migrar desde un vertedero de residuos sólidos municipales, en concentraciones significativas en el lixiviado, hasta alcanzar los acuíferos proveedores de agua de consumo humano (Brugnoni & Iribarne, 2006).

Por cada país varían las fuentes de emisiones de mercurio. En la siguiente tabla se mencionan algunas fuentes de emisiones de mercurio.

Tabla 4. Fuentes de emisión de mercurio (INECC, 2000; EPA, 1997)

| Fuentes de mercurio |
|--|
| - Fundidoras secundarias de plomo |
| - Minería del oro y refinación |
| - Odontología (amalgamas) |
| - Refinerías de crudo |
| - Manufactura de cemento Pórtland |
| - Plantas de cemento |
| - Lámparas fluorescentes |
| - Termómetros |
| - Plantas termoeléctricas |
| - Fundidoras de hierro |
| - Cremación |
| - Baterías de mercurio |
| - Incineradores de residuos peligrosos biológico-infecciosos |
| - Residuos hospitalarios |
| - Esfignomanómetros |
| - Incineradores de residuos industriales peligrosos |
| - Gas natural |
| - Plantas carboeléctricas |
| - Combustión de la madera |
| - Producción de vidrio |

Caracterización del contaminante

Los compuestos químicos se clasifican en orgánicos e inorgánicos, y pueden ser de fuentes antropogénicas o compuestos de origen natural. Los compuestos orgánicos se basan en los átomos de carbono. Los compuestos inorgánicos no contienen átomos de carbono y por lo general incluyen metales. La estructura química de los compuestos orgánicos e inorgánicos, determina la polaridad de su carga, la solubilidad, la volatilidad y la capacidad de reaccionar con otras sustancias (Sellers, 1999). Antes de seleccionar una tecnología de tratamiento para separar contaminantes, es esencial contar con información acerca del tipo de contaminante (orgánico o inorgánico); su concentración y toxicidad, su distribución a través del sitio y el medio en el que se encuentra (agua o partículas de suelo), entre otras.

Propiedades químicas y toxicidad del mercurio

El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas. El mercurio es un elemento constitutivo de la tierra; es un elemento pesado ya que su densidad es de $r = 13.53 \text{ gr/cm}^3$ (elementos pesados son los $> 5 \text{ gr/cm}^3$); a temperatura ambiente es un líquido inodoro. Por evaporación de esta sustancia a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire. (IPCS & CE, 2005).

Su punto de fusión es de $-39 \text{ }^\circ\text{C}$, y de ebullición es de $357 \text{ }^\circ\text{C}$; también tiene una presión de vapor de 0.0002 Pa a $234 \text{ }^\circ\text{K}$; no es buen conductor del calor comparado con otros metales, aunque es buen conductor de la electricidad. Se alea fácilmente con muchos otros metales como el oro y la plata produciendo amalgamas, pero no con hierro, níquel, cadmio, aluminio, cobalto y platino. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico; no es atacado por el ácido clorhídrico; cuando se calienta, se combina con ácido sulfúrico; es incompatible con el ácido nítrico concentrado, acetileno, amoniaco, cloro y otros, como los metales alcalinos, con los cuales reacciona exotérmicamente (generando calor) (OIT, 2013).

El mercurio está presente en el medio ambiente en tres estados de oxidación: mercurio elemental H^0 , mercurio monovalente, Hg (I) o H^{+1} ; y mercurio divalente, Hg (II) o H^{+2} . Estas formas y sus compuestos pueden estar

presentes en la atmósfera, ya sea gaseoso, líquido, o en fases sólidas. Los compuestos de mercurio que se encuentran en el medio ambiente pueden ser en forma de sal mineral u orgánica. Los compuestos orgánicos de mercurio, que se encuentran principalmente en el medio acuático, son de particular interés medioambiental, ya que tienen una tendencia a acumularse en la biota y principalmente en los peces. A partir del mercurio divalente se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio (Constantinou, Gerath, Mitchell, & Seigneur, 1995).

El mercurio que se transporta en la atmósfera tiene un tiempo de residencia que varía en función de la forma en que se encuentre. El Hg^0 tiene un tiempo de residencia en la atmósfera de un año; el mercurio oxidado, $Hg(II)$, tiene una residencia que oscila entre horas y meses, ya que este puede ser depositado tanto por vía húmeda como por vía seca. Aunque el mercurio presenta baja solubilidad puede sufrir una conversión en las gotas de agua de las nubes (Martínez, 2004).

La deposición es el proceso intermedio responsable del transporte de los productos químicos de la atmósfera a la superficie del suelo. Una buena comprensión y caracterización precisa de este proceso es de particular importancia cuando se realiza una evaluación de riesgos, ya que esto va a determinar si, y en qué medida, otros medios se contaminan. El proceso de deposición se puede dividir en seca y húmeda (Constantinou, Gerath, Mitchell, & Seigneur, 1995).

Compuestos orgánicos del mercurio

Las formas naturales de mercurio más comunes en el medio ambiente son el mercurio metálico, sulfuro de mercurio, cloruro de mercurio y metilmercurio. Ciertos microorganismos en el medio ambiente metabolizan el mercurio, haciendo que pase de inorgánico a orgánico. El compuesto orgánico de mercurio que genera los microorganismos y los procesos naturales a partir de otras formas es el metilmercurio, que puede acumularse en peces y mamíferos marinos comestibles en concentraciones muchas veces mayores que las de las aguas circundantes (Constantinou, Gerath, Mitchell, & Seigneur, 1995).

Un ejemplo de liberación directa de compuestos orgánicos de mercurio, sucedió en Minamata, Japón, entre 1932 y 1968. Fue el primer caso bien documentado, cuando se vertieron en la bahía de Minamata unas 27 toneladas de compuestos de mercurio y otros contaminantes. Esta ciudad está ubicada en la prefectura de Kumamoto, en la isla de Kyushu, Japón sudoccidental. Se vertieron en esa bahía subproductos orgánicos de mercurio, que eran el resultado de la producción de acetaldehído, cuando la empresa Chisso Corporation comenzó a desarrollar plásticos y perfumes (Yacuzzi, 2008).

Por tratarse de un elemento, el mercurio no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas. Durante su ciclo, el mercurio puede cambiar de estado y especie; pero su forma más simple es el mercurio elemental, que es dañino para los humanos y la vida silvestre. Una vez liberado el mercurio, puede cambiar del lugar de origen y migrar a gran distancia del sitio de liberación, circulando entre la superficie terrestre (los suelos, las aguas y los sedimentos) y la atmósfera (OMS, 2013).

Medición del gas

Algunas personas pueden tener el sentido del olfato más sensible a ciertos contaminantes del aire que otras. Muchas sustancias se perciben en concentraciones muy bajas, incluso después de una exposición a largo plazo pueden causar efectos adversos a la salud. El sentido del olfato es suficiente para la determinación de la presencia de contaminantes del aire; pero existe la necesidad de un método de análisis de gas objetivo cuando ciertos elementos no son sensibles al olfato humano. La medida del gas sirve como una ayuda técnica y una evaluación de la concentración cuando se sospecha que existe un potencial riesgo de un gas. Por esa razón, es necesario medir su concentración y considerar la duración de la exposición (Dräger, 2011).

La industria de la instrumentación ofrece varios dispositivos para la medición del gas elemental de mercurio que pueden utilizarse, individualmente o en combinación en la tarea de medición:

Tabla 5. Dispositivos para la medición de mercurio según Dräger.

Dispositivos:

- Detectores de ionización de llama
 - Detectores de fotoionización
 - Cromatógrafos de gas
 - Espectrómetros infrarrojos
 - UV-VIS fotómetros
 - Los dispositivos de advertencia para los peligros de explosión
 - Dräger-Tubos
 - Dräger Chip-medicación-Sistema
 - Análisis de laboratorio junto con tubos de muestreo o botellas de lavado de gases (impactor)
 - Espectrómetros de masas
 - Sustancias instrumentos selectivos con e. g. sensores electroquímicos
-

Como reducir las liberaciones de mercurio

La gestión de desechos de mercurio es cada vez más compleja a medida que se recoge más mercurio de una diversidad de fuentes, incluidos los productos de filtrado de gas, los sedimentos de la industria cloro-alcalino, las cenizas y los residuos minerales, así como los tubos fluorescentes, baterías y otros productos que con frecuencia no se reciclan. La gestión adecuada de los desechos de mercurio es importante para reducir las liberaciones al medio ambiente, incluidas las que se producen por derrames (por rotura de termómetros), o las que duran algún tiempo debido a las fugas (como las que se producen en los interruptores automáticos y en las amalgamas dentales), o las emanaciones de la incineración de desechos y la cremación (INECC, 2000).

Tratamiento a lámparas fluorescentes

El proceso de reciclaje de las lámparas fluorescentes lineales o compactas (LFC) es complejo; la separación de vidrios, partes metálicas y polvo fluorescente que contiene la mayoría del mercurio. Solo ciertas

tecnologías para tratar los residuos de las lámparas y separar los materiales de manera que no causen contaminación serían las adecuadas, para luego reutilizar los materiales reciclados. El vidrio recuperado se vende a fabricantes de fibra de vidrio; los metales se envían a fundición; y el polvo de fósforo y el mercurio pueden reusarse en el proceso de fabricación de lámparas (Brugnoni & Iribarne, 2006).

En un estudio mediante el método del vapor frío por espectrometría de absorción atómica (AAS-FIAS), encontró que una lámpara CFL contiene $24,5 \pm 0,44$ ppb de mercurio en fase vapor, $204,16 \pm 8,97$ ppb de mercurio como componente del polvo fluorescente y $18,74 \pm 0,47$ ppb de mercurio contenido a través del vidrio. Al final del total del mercurio introducido en la lámpara, el 85,76% del mercurio se convierte en un componente del polvo fluorescente, el 13,66% se difunde a través de la matriz vítrea y la fase vapor solo representa el 0,58%. Al tratar el polvo fluorescente como el mercurio contenido en el vidrio se conseguiría reducir la concentración de mercurio en los desechos de lámpara en más del 99% (Rey & Gallardo, 2011).

Remediación térmica

Los tratamientos térmicos ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza pero son generalmente los más caros en remediación. Los altos costos se deben a los costos de energía, equipos y por el uso de mano de obra. Otras tecnologías como las biológicas o fisicoquímicas tienen a diferencia de los procesos térmicos la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes. Los procesos térmicos utilizan la temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado, descomposición (destrucción) o función de los contaminantes (inmovilización) (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997).

Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren tratamiento; las destructivas producen residuos sólidos (cenizas) y también líquidos que requieren tratamiento o disposición. Para los dos tipos de tratamiento, el volumen de residuos generados que requieren tratamiento o disposición, es mucho menos que el volumen inicial (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997).

Marco de referencia de seguridad química

La ACGIH es una asociación científica, no es un órgano de establecimiento de normas. Como una organización científica, ha establecido comités que revisan lo publicado por expertos. La literatura científica de ACGIH publica directrices, conocidas como *valores límite umbral* (TLV) e *índices de exposición biológica* (BEI), para ser usada por los higienistas industriales en la toma de decisiones con respecto a los niveles de seguridad de la exposición a diversos agentes químicos y físicos que se encuentra en el lugar de trabajo (ACGIH, 2012).

Método

Tipo de estudio

Estudio empírico con metodología cuantitativa; también descriptivo, mediante un código arbitrario de observación tipo estructurada. La investigación se lleva a cabo en el contexto habitual en el que se produce el fenómeno, pero el investigador introduce modificaciones para maximizar la probabilidad de aparición de dicho fenómeno (Montero & León, 2007).

Instrumentos

Dräger X-act 5000

Bomba automática para tubos Dräger: proporciona las características de flujo requeridas por los tubos de rango corto Dräger, ofrece la opción de ser utilizada con tubos y sistemas de muestreo que requieren un flujo constante. La bomba automática Dräger X-act 5000 dirige fácilmente el aire que se debe medir a través de los tubos Dräger apropiados. La calibración de bomba se hace a través de un código de barras impreso en la etiqueta de la parte trasera de la caja de los tubos de rango corto Dräger que contiene todos los parámetros relevantes de medición. Simplemente pasando el código de barras por el lector de la bomba, el nombre de la sustancia que se debe medir se transfiere automáticamente a la pantalla, así como el número de emboladas y el rango de medición (Dräger, 2014).

Mascara 3M 7800-S

Los respiradores 3M de la Serie 7800 están diseñados para usarse con los Filtros de la Serie 2000 y los Cartuchos de la Serie 6000 y 7000 de 3M, proporcionando un alto nivel de protección en usos industriales (ver anexo 6). Las principales aplicaciones para estos respiradores son: operaciones de soldadura, industria del aluminio, industria del acero, industria del vidrio, industria farmacéutica, agroquímicos, minería, industria alimenticia, petroquímica, química, entre otras.

Filtros 3 M 60926

El filtro de carbón activado en base de azufre, que retiene mercurio en forma de amalgama, también es considerado como un desecho del proceso de tratamiento.

Tubos de rango corto Dräger

El tubo colorimétrico para vapor de mercurio CH23101 está certificado con ISO 9001 (certificado de manufactura), tiene un rango de medición desde 0.05 mg/m³ hasta 2 mg/m³. Los tubos son frascos de vidrio llenos de un reactivo químico que reacciona a una sustancia química o a una familia de productos químicos específicos. Un calibrado de 100 ml de la muestra de aire es aspirado a través del tubo con la bomba automática Dräger. Si los productos(s) químico(s) específico(s) están presente(s), el reactivo en el tubo cambia de color y la longitud de ese cambio de color indica típicamente la concentración medida. Más de 500 sustancias diferentes pueden ser medidas con los tubos de rango corto Dräger (Dräger, 2011).

Condiciones ambientales de operación del tubo Dräger CH23 101

Temperatura: de 0 a 40 °C

Humedad relativa: < 20 mg H₂O / L

Rango de aplicación del tubo CH23 101

Rango de medición estándar: 0.05 a 2 mg/m³

Número de carreras (emboladas de 100ml): 1 a 40
 Máximo tiempo de medición: 10 minutos
 Desviación estándar de datos: + o -30%
 Cambio de color: amarillo-gris \longrightarrow pálido naranja

Principio de reacción en el tubo Dräger CH23 101 para medir vapor de mercurio



Figura 11. Tubo Dräger CH23 101 para medir vapor de mercurio en aire (Dräger, 2011)



Función de cálculo de concentración según la carrera de bomba automática Dräger X-act 5000 y reacción química en tubo Dräger CH 101 23 para medir mercurio

Si la decoloración naranja pálido alcanza la línea de marca de nivel de indicación, se valora como sigue:

Tabla 6. Función de cálculo de concentración de mercurio en aire según número de carrera en tubo de control Dräger (Dräger, 2011).

| | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Carreras | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Concentración | 2 | 1 | 0.7 | 0.5 | 0.33 | 0.25 | 0.2 |
| Carreras | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 40 | |
| Concentración | 0.17 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 0.1 | 0.05 | |

Unidades de análisis

Se evaluaron 32 edificios que contienen grandes cantidades de luminarias, ubicados en cinco departamentos de El Salvador, esto con el apoyo de accesibilidad que dió a los lugares que se deberían muestrear la Sección de Seguridad Ocupacional del Ministerio de Trabajo.

Resultados de trabajo de campo

Tratamientos actuales en El Salvador según búsqueda de información en alcaldías del área metropolitana y en el Ministerio de Medio Ambiente.

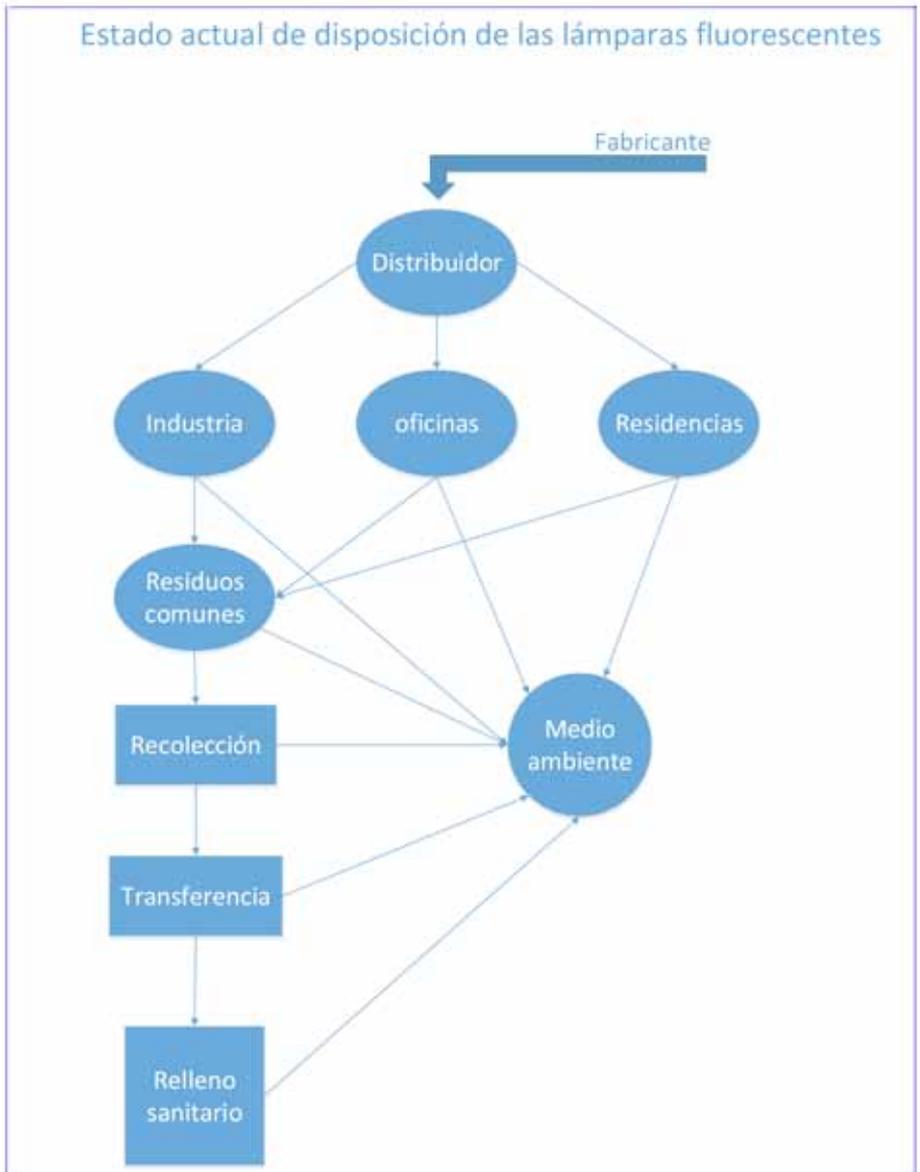
Actualmente en el área metropolitana, las lámparas fluorescentes de tubo lineales, de alta presión de mercurio, de sodio y LFC van al relleno sanitario junto con la basura común de los hogares y las de las industrias, que las desechan como un residuo convencional, no son tratadas como un residuo peligroso debido a que no existe conocimiento sobre el elemento mercurio y de sus características de peligrosidad. Cuando se habla de lámparas fluorescentes de tubo, se habla de residuos comunes en El Salvador.

En el Salvador no existen tratamientos para los desechos que generan las lámparas fluorescentes, según resolución de no entrega por inexistencia N°OIR-063-2013. Dicha información de la Dirección General de Saneamiento Ambiental, a través de su Unidad de Desechos Sólidos y Materiales Peligroso del Ministerio de Medio Ambiente, quien informó lo siguiente: “El MARN no entrega información por inexistencia de los siguientes puntos consultados: a) Datos sobre tratamientos a lámparas fluorescentes y otros elementos que contengan mercurio elemental, b) Datos sobre importación de mercurio elemental, mercurio inorgánico y mercurio orgánico, c) Datos sobre importaciones anuales de lámparas fluorescentes y lámparas compactas”.

También según información de las alcaldías del área cercana al municipio de San Salvador, como las de Santa Tecla, Soyapango, y Mejicanos, que en respuesta a la solicitud antes mencionada respondieron que “no existe adecuada recolección de los desechos sólidos y materiales peligrosos, por lo que las lámparas fluorescentes que desechan los hogares de los municipios

antes mencionados, son recolectadas junto con la demás basura (residuos comunes) y llevadas a los rellenos sanitarios sin que se haga el debido traslado, la clasificación y el tratamiento para cada tipo de desecho peligroso”. En cuanto al tratamiento de mercurio en El Salvador, a la fecha solamente se tiene lo que aborda el reglamento de residuos peligrosos. Las lámparas fluorescentes desechadas son un problema ambiental. Debido a su inadecuada disposición liberan mercurio y otros elementos contaminantes cuando se rompen, provocando la contaminación de los residuos sólidos urbanos y a su vez contaminando aire, suelo y agua.

Figura 12. Estado actual de la disposición de las lámparas fluorescentes. Elaboración propia



Resultados de medición de mercurio en lugares donde hay lámparas en desuso o rotas

Los resultados del muestreo de campo se contrastan con 0.025 mg/m³ como TLV de la ACGIH (como TWA [Tiempo Promedio Ponderado] piel A4).

Tabla 7. Resultados de primera visita con tres distintos sitios analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada de 100 ml | ug/l | ppm | Des- viación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|--------------|--------------------|------|-------|---|---------------------|----------------|
| 1 | Fluorescente | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peligro |
| 2 | Fluorescente | 2 (reacción) | 1 | 0.12 | 0.3 | 40 | Peligro |
| 3 | Fluorescente | 20 (reacción) | 0.1 | 0.012 | 0.03 | 4 | Peligro |

En la primera visita a este lugar, por su extensión, se tomaron tres muestras en tres distintos sitios. En la primera muestra, bajo condiciones de 30 °C y 72 % de humedad relativa, el tubo Dräger no tuvo reacción. En la segunda muestra con el tubo colorimétrico para medir mercurio, la reacción fue en la carrera 2, superando en diez veces el TLV. Cabe destacar que en este sitio se encontraba una importante cantidad de lámparas rotas. En la tercera medición bajo las mismas condiciones el tubo Dräger reacciona en la carrera 20, superando el límite que establece ACGIH.

Figura 13. Muestra 1. Foto propia.



Figura 14. Muestra 2. Foto propia.



Figura 15. Muestra 3. Foto propia.



Tabla 8. Resultado de segunda visita a un sitio con un lugar analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embollada de 100 ml | ug/l | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|------------|--------------|---------------------|------|-------|------------------------------|---------------|-----------|
| 4 | Fluorescente | 20 (reacción) | 0.1 | 0.012 | 0.036 | 4 | Peligro |

En esta medición, en el lugar visitado bajo condiciones de 25 °C y 57 % de humedad relativa, el tubo CH101-23 reaccionó ante la carrera N° 20. Esta concentración supera el TLV de la ACGIH de 0.025 ug/l. La medición se hizo en el área de mantenimiento de un edificio, las lámparas fluorescentes se encontraban rotas.

Figura 16. Muestra 4. Foto propia.



Tabla 9. Resultado de tercera visita con un sitio analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embolada de 100 ml | ug/l | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|---------------|--------------|-----------------------|------|-----|------------------------------------|---------------------|---------------|
| 5 | Fluorescente | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peligro |

En este lugar visitado se almacenan varios cientos de lámparas fluorescentes en desuso. Se constató que habían varias lámparas quebradas y que el polvo fluorescente estaba esparcido por el lugar. Al medir con la bomba y el tubo Dräger en condiciones de 26 °C y 57 % de humedad relativa, no se obtuvo reacción debido a que los tubos habían sido rotos hacía muchos meses. Esta medición puede haber sido afectada por las corrientes de aire del lugar.

Figura 17. Muestra 5. Foto propia



Tabla 10. Resultados de cuarta visita con dos sitios analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada de 100 ml | ug/l | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi-ción |
|------------|--------------|--------------------|--------|--------|------------------------------|---------------|------------|
| 6 | Fluorescente | 25 (reacción) | 0.0875 | 0.0105 | 0.02625 | 3.5 | Peligro |
| 7 | Fluorescente | 18 (reacción) | 0.11 | 0.0132 | 0.033 | 4.4 | Peligro |

Esta medición se realizó en una bodega que sirve también de oficina de mantenimiento; a temperatura de 28 °C y 56 % de humedad el tubo de medición de mercurio reaccionó en la carrera 25. Con esto se demuestra que existe emanación de los tubos fluorescentes sin quebrar. La segunda medición fue hecha en otro lugar visitado este día. En este lugar se encontró un serie de tubos fluorescentes rotos. En esta toma de muestra con el tubo CH101-23 para mercurio, la reacción fue en la carrera N° 18, bajo las condiciones de temperatura de 27 °C y 58 % de humedad, superando el TLV de la AGCIH. Estos tubos fluorescentes se encontraban a la intemperie.

Figura 18. Muestra 6. Foto propia



Figura 19. Muestra 7. Foto propia



Tabla 11. Resultados de quinta visita con dos lugares analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada de 100 ml | ug/l | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|-------------------|--------------------|------|--------|------------------------------|---------------|-------------|
| 8 | Fluorescente rota | 14 (reac- ción) | 0.14 | 0.0168 | 0.042 | 5.6 | Peligro |
| 9 | Fluorescente rota | 3 (reac- ción) | 0.7 | 0.084 | 0.21 | 28 | Peligro |

Se realizaron dos mediciones en la visita a este lugar. En la primera de ellas se midieron tubos rotos que estaban tirados a la intemperie bajo las condiciones de 30 °C y 72 % de humedad relativa. El tubo Dräger reaccionó en la carrera 14, superando 5.6 veces el TLV. En la segunda medición, hecha en otro lugar de la misma propiedad, bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad, el tubo Dräger reaccionó en la carrera 3, superando 28 veces el TLV de la ACGIH. Esta segunda medición se hizo también al aire libre en un sitio donde se hace transferencia de basura, encontrando abundantes restos de lámparas de varios tipos.

Figura 20. Muestra 8. Foto propia



Figura 21. Muestra 9. Foto propia



Tabla 12. Resultados de sexta visita con un sitio analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|------------|--------------|-----------------|--------|--------|------------------------------|---------------|-----------|
| 10 | Fluorescente | 37 (reacción) | 0.0575 | 0.0069 | 0.01725 | 2.3 | Peligro |

En esta medición, bajo las condiciones de 26.3 °C y 56 % de humedad relativa en la bodega y oficina de mantenimiento donde se almacenan las lámparas fluorescentes, el tubo Dräger reacciona en la carrera 37. Con esto no superó el límite del TLV que establece la ACGIH. En este lugar las lámparas están distribuidas en varios espacios de la bodega, con el peligro que se rompan por aplastamiento u otra fuerza.

Figura 22. Muestra 10. Foto propia



Tabla 13. Resultados de séptima visita con cuatro sitios analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|--------------------------------|------------------|------|--------|------------------------------|---------------|-------------|
| 11 | Fluorescente alta presión rota | 12 (reac- ción) | 0.17 | 0.0204 | 0.051 | 6.8 | Peligro |
| 12 | Fluorescente | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peligro |
| 13 | Fluorescente alta presión rota | 6 (reac- ción) | 0.33 | 0.0396 | 0.099 | 13.2 | Peligro |
| 14 | Fluorescente rota | 6 (reac- ción) | 0.33 | 0.0396 | 0.099 | 13.2 | Peligro |

En la visita a este lugar, por su extensión y múltiples sitios de almacenamiento de lámparas fluorescentes, lámparas de alta presión de mercurio, lámparas de sodio y tubos fluorescentes compactos se pudo realizar cuatro mediciones a temperatura de 27 °C y 78 % de humedad relativa. En la primera de ellas (figura 23) se midió emanaciones de lámparas de alta presión; el tubo Dräger CH101-23 reaccionó en la carrera 12, superando 6.8 veces el límite del TLV de la ACGIH. En la segunda muestra (figura 24) el tubo de medición no reaccionó. Con esto se verifica que del contenedor de acero que tiene un conjunto de lámparas fluorescentes, no emanaban gases de mercurio. En la tercera medición hecha, cerca del taller de mantenimiento del sitio visitado, se encontró emanación de mercurio. El tubo Dräger reaccionó en la carrera 6. En la cuarta medición (figura 25) cerca del taller de mantenimiento, el tubo reaccionó en la carrera 6, con esto la tercera y la cuarta medición hecha en este lugar superaron 13.2 veces el TLV de la ACGIH.

Figura 23. Muestra 11. Foto propia



figura 24. Muestra 12. Foto propia



Figura 25. Muestra 14. Foto propia



Tabla 14. Resultados de octava visita con un sitio analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|-----------------|-----------------|------------|--------|------------------------------|---------------|-------------|
| 15 | Fluores- centes | 15 (reac- ción) | 0.13 | 0.0156 | 0.039 | 5.2 | Peligro |

En este lugar visitado, las lámparas fluorescentes son más de quinientas; están almacenadas en un contenedor metálico, alcanzando una temperatura de 28.7 °C y 63% de humedad relativa. En la medición con el tubo Dräger para mercurio, este reaccionó en la carrera 15, superando con esto el TLV.

Figura 26. Muestra 15. Foto propia



Tabla 15. Resultados de novena visita con dos sitios analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|----------------|------------------|------------|-------|------------------------------|---------------|--------------|
| 16 | Fluores- cente | 40 (reac- ción) | 0.05 | 0.006 | 0.015 | 2 | Peligro |
| 17 | Fluores- cente | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peli- gro |

Esta visita se realizó a dos lugares, tomado muestras en cada uno de ellos. En el primero se tomó la muestra de tubos rotos que estaban a la intemperie con 29 °C y 56 % de humedad relativa. El tubo Dräger reaccionó en la carrera 40, sobrepasado el límite de la del TLV. En la segunda medición con temperatura de 28 ° y 56 % de humedad relativa, después de cuarenta carreras de la bomba Dräger, el tubo de medición de mercurio no presentó reacción química.

Figura 27. Muestra 16. Foto propia



Tabla 16. Resultados de décima visita con un sitio analizado

| Muestra # | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|-----------|--------------|-----------------|------------|-------|------------------------------|---------------|-----------|
| 18 | Fluorescente | 30 (reacción) | 0.075 | 0.009 | 0.0225 | 3 | Peligro |

En la visita a este lugar, se constató que las lámparas son almacenadas en el área de oficinas de mantenimiento. En el lugar se encontraron diferentes tipos de luminarias en desuso, como tubos compactos fluorescentes, fluorescentes circulares, lámparas de alta presión y lámparas fluorescentes lineales almacenadas en estante, con el peligro de rotura. La medición se realizó a lámparas fluorescentes circulares, en la que el tubo Dräger reaccionó en la carrera N° 30 encontrando un nivel tres veces arriba del TLV.

Figura 28. Muestra 18. Foto propia



Tabla 17. Resultados de la décima primera visita con una muestra en el sitio

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|------------|--------------|-----------------|------------|------|------------------------------|---------------|-----------|
| 19 | Fluorescente | 8 (reacción) | 0.25 | 0.03 | 0.075 | 10 | Peligro |

Esta medición se realizó en una bodega que también posee oficinas. El escritorio del jefe de mantenimiento se encuentra en la bodega; en este lugar se almacenan varios cientos de lámparas fluorescentes en desuso y nuevas. En la medición, el tubo colorimétrico reaccionó a 24 °C y 54 % de humedad relativa, por lo que superaba más de dos veces la norma de la EPA, haciendo de este un lugar inseguro para oficinas o presencia de personas en largos periodos de tiempo.

Figura 29. Muestra 19. Foto propia



Tabla 18. Resultados de la décima segunda visita con dos sitios analizados

| Muestra # | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|-----------|-----------------|------------------|------------|-------|------------------------------|---------------|------------|
| 20 | De alta presión | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peligro |
| 21 | Fluorescente | 10 (reacción) | 0.2 | 0.024 | 0.06 | 8 | Peligro |

En este lugar se hicieron dos mediciones. Los tubos eran de lámparas fluorescentes lineales y tubos de alta presión de mercurio, para iluminación de parqueos. Estos se ubicaron bajo techo, pero no completamente cerrado el lugar donde están almacenados. La primera medición de tubos, fue con fluorescentes de alta presión, a 30 °C y 54 % de humedad relativa, en la que no hubo reacción a las 40 carreras de 100 ml cada una, ya que la cápsula interna de la lámpara no estaba rota, solo evidenciaba un tono oscuro en sus extremos. En la segunda medición, la muestra fue en lámparas fluorescentes lineales que

estaban en desuso. El tubo Dräger reaccionó en la carrera N° 10, a 30.6 °C y 54 % de humedad relativa, superando el TLV.

Figura 30. Muestra 20. Foto propia



Figura 31. Muestra 21. Foto propia



Tabla 19. Resultados de décima tercera visita con un sitio analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|------------|--------------|-----------------|------------|-------|------------------------------|---------------|-----------|
| 22 | Fluorescente | 10 (reacción) | 0.2 | 0.024 | 0.06 | 8 | Peligro |

En este sitio el tubo Dräger reaccionó a 28 °C y 66 % de humedad, en un conjunto de lámparas fluorescentes en desuso ubicadas en el taller de mantenimiento. El resultado de esta medición fue en la carrera N° 10; lo que indica el tubo Dräger es que en este lugar la concentración de mercurio supera el TLV en ocho veces. Las lámparas fluorescentes están mal ubicadas dentro de este taller, corren peligro de rotura por aplastamiento de otros materiales del lugar.

Figura 32. Muestra 22. Foto propia



Tabla 20. Resultados de décima cuarta visita con dos sitios analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|------------|--------------|------------------|------------|-----|------------------------------|---------------|------------|
| 23 | Fluorescente | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peligro |
| 24 | Fluorescente | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peligro |

En la visita a estas instalaciones, la medición se realizó en el taller de mantenimiento, en el cual se almacena una importante cantidad de lámparas fluorescentes lineales (T12 y T8), lámparas circulares, lámparas de alta presión de mercurio, lámparas de sodio y lámparas fluorescentes compactas (LFC), para iluminación de parqueos, que tienen más poder de iluminación que las LFC que se usan en el hogar. La primera de las muestras se realizó a un grupo de lámparas en su caja metálica a 28 °C y 74 % de humedad. La segunda muestra a igual temperatura y humedad. En ambas muestras, a las 40 carreras no hubo reacción en el tubo Dräger CH101 23, por lo que cumplen el TLV.

Figura 33. Muestra 23. Foto propia

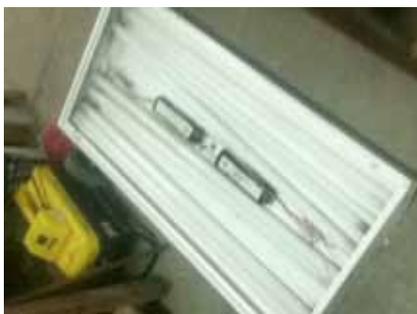


Figura 34. Muestra 24. Foto propia



Tabla 21. Resultados de décima quinta visita con un sitio analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición |
|------------|---------------|-----------------|------------|--------|------------------------------|---------------|-----------|
| 25 | Fluorescentes | 26 (reacción) | 0.085 | 0.0102 | 0.0255 | 3.4 | Peligro |

En este caso, la visita se realizó a una bodega, la cual sirve para área de mantenimiento. Al medir con el tubo colorimétrico, este reaccionó en la carrera 26, por lo que los niveles de mercurio según el TLV, están en rango de peligro; pero al estar las lámparas fluorescentes y otras luminarias que contienen mercurio en una área inadecuada de almacenamiento corren el peligro de romperse, ocasionando contaminación del ambiente de trabajo dentro de la bodega que sirve como área de mantenimiento.

Figura 35. Muestra 25. Foto propia



Tabla 22. Resultados de décima sexta visita con un sitio analizado

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Des- viación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|--------------------------|-----------------|------------|--------|---|---------------------|----------------|
| 26 | Circulares fluorescentes | 5 (reacción) | 0.415 | 0.0498 | 0.1245 | 16.6 | Peligro |

En esta visita, el tubo reaccionó en las primeras cinco carreras, superando más de cuatro veces el TLV. Los tubos fluorescentes en este lugar están almacenados a 31 °C y 72 % de humedad. En la bodega también se almacenan artículos de cama, café, colchonetas y otros tipos de artículos que pueden ser contaminados si se rompen tubos nuevos o en desuso. La medición en este lugar fue a tubos fluorescentes circulares que no estaban rotos, pero que, al acercar la bomba Dräger con el tubo colorimétrico, este reaccionó, al encontrar emanación de mercurio al ambiente.

Figura 36. Muestra 26. Foto propia.



Tabla 23. Resultados de décima séptima visita con dos sitios analizados.

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condición PA |
|------------|--|-----------------|------------|--------|------------------------------|---------------|--------------|
| 27 | Fluorescentes enterradas (# no identificado) | 14 (reacción) | 0.14 | 0.0168 | 0.042 | 3.3 | Peligro |
| 28 | Fluorescentes enterradas (40) | 9 (reacción) | 0.225 | 0.027 | 0.0675 | 9 | Peligro |

En esta visita fueron dos los lugares inspeccionados: En el primero, las lámparas estaban enterradas. Se midieron un grupo de lámparas T12 no determinado. El tubo Dräger reacciona en la carrera 14, lo que indica que superó el TLV de 0.025 ug/l. En el segundo caso, las lámparas T12 enterradas eran alrededor de 40. La reacción del tubo indica que la emanación de vapor es mayor que la primera porque el tubo reaccionó en la carrera N° 9. En este caso, las lámparas enterradas pueden haberse roto. En ambos casos el mercurio está pasando a la tierra, al agua y a la atmósfera.

Figura 37. Lugar donde se tomó una de las muestras. Foto propia



Figura 38. Muestra 27. Foto propia



Figura 39. Muestra 28. Foto propia



Tabla 24. Resultados de décima octava visita con dos sitios analizados

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|------------------------|------------------|------------|--------|------------------------------|---------------|--------------|
| 29 | Fluores- centes | 14 (reac- ción) | 0.14 | 0.0168 | 0.042 | 5.6 | Peligro |
| 30 | Fluores- centes nuevas | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No Peli- gro |

En esta visita, la bodega donde se tiene almacenados los tubos fluorescentes en desuso el ambiente presentaba 27.5 °C y 59 % de humedad relativa, los tubo se encontraban embalados en su empaque original, las lámparas fluorescentes en desuso son las únicas que reaccionaron ante el tubo Dräger a las 14 carreras, encontrando emanación de mercurio que se despidió al ambiente que supera el TLV de la ACGIH.

Figura 40. Muestra 30. Foto propia

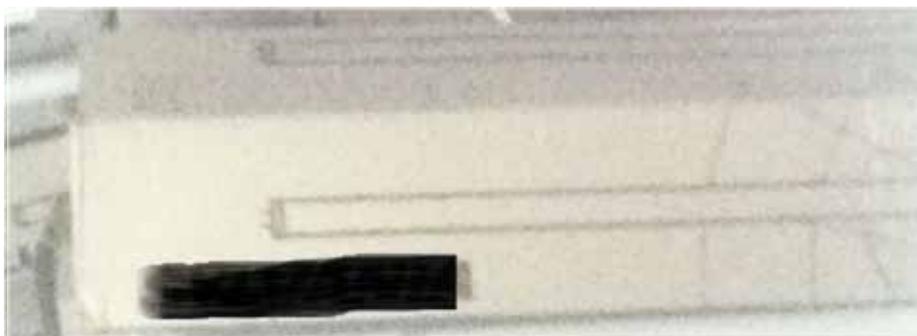
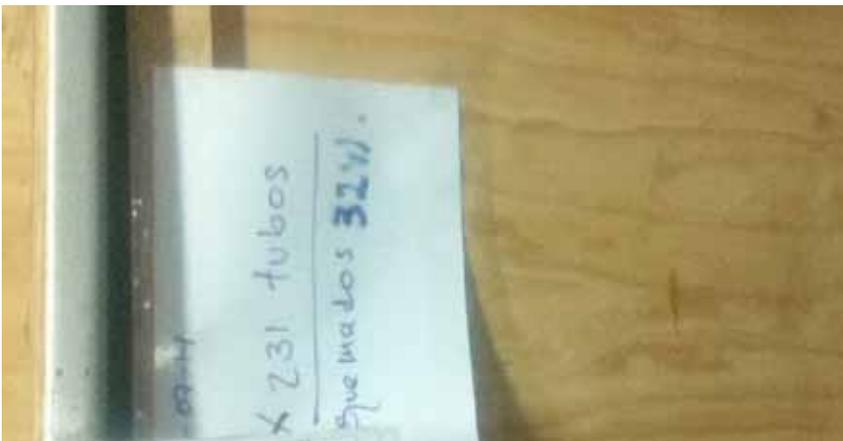


Tabla 25. Resultados de décima novena visita con dos sitios analizados.

| Muestra N° | Lámpara | Embolada 100 ml | ug/l de Hg | ppm | Desviación estándar + - 30 % | TLV 0.05 ug/l | Condi- ción |
|------------|-------------------------------------|------------------|------------|-----|------------------------------|---------------|--------------|
| 31 | Fluorescentes de 8' | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No peli- gro |
| 32 | Fluores- centes embaladas en desuso | 40 (no reacción) | 0 | 0 | 0 | 0 | No Peli- gro |

En este lugar, las condiciones de almacenamiento de las lámparas fluorescentes en desuso fueron de 26.4 °C y 59 % de humedad relativa. Bajo estas condiciones, el tubo CH101 23, no reaccionó en cuarenta carreras de la bomba Dräger, por lo cual no se encontró rastros de mercurio. En este lugar, todas las lámparas estaban embaladas en cajas de madera y otras en su empaque original, con registro de fecha, con la debida señalización de riesgo. Estas fueron las mejores formas de almacenamiento temporal encontradas, y ante la medición no presentaron reacción ante el tubo Dräger para medir mercurio en ambiente.

Figura 41. Muestra 32. Foto propia



Análisis de alternativas para el tratamiento de lámparas fluorescentes

Existen diferentes procesos para la remediación de sustancias peligrosas, entre las que se puede mencionar, para las lámparas fluorescentes, las siguientes: biológica, térmica, química e incineración.

Remediación biológica

La capacidad de las bacterias sulfato reductoras para producir sulfuro de hidrógeno y la alta afinidad del sulfuro para reaccionar con cationes metálicos divalentes representan una excelente opción para eliminar los metales pesados de las aguas residuales. La reducción sulfato-biológica en sulfuro de hidrógeno, en aguas residuales, ha sido ampliamente estudiado para la precipitación de metales pesados, tales como Hg, Cu, Ni, Zn, Fe, Cd, Mn, Co y Pb (Velasco, Ramírez, Volke-Sepulveda, González-Sánchez, & Revah, 2007).

Remediación térmica con destilación de mercurio por MRT Batch Process Distillers

La remediación térmica por lotes se da en alta temperatura, en la que se aplica calor para separar el mercurio de los demás componentes, a la vez las partículas orgánicas son oxidadas en una cámara de combustión, luego la corriente de gas es enfriada y después condensado el mercurio (MRT System, 2008).

Remediación química

Al combinar mercurio con azufre, el mercurio puede formar una gran cantidad de sustancias. De esta combinación de elementos, el más importante en forma comercial es el sulfuro de mercurio HgS conocido como *cinabrio*. De este mineral se obtiene el mercurio metálico, pues contiene aproximadamente 86.2 % de mercurio y 13.8 % de azufre (Conama, 2009). También el sulfuro mercúrico es el principal mineral de donde se extrae el mercurio metálico, este emana gases dando una concentración de 10 ng/m³ (EPA, 1997).

Remediación por incineración

Se entiende por incineración al procesamiento de residuos en cualquier unidad técnica, equipo fijo o móvil que involucre un proceso de combustión a altas temperaturas (Martínez, Mallo, Lucas, Álvarez, Slavarrey, & Gristo, 2005). En el proceso de incineración la materia orgánica es oxidada con el oxígeno del aire, generando emisiones gaseosas que contienen mayoritariamente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno. Dependiendo de la composición de los residuos, las emisiones gaseosas pueden contener además cantidades menores de monóxido de carbono, ácidos clorhídrico, yodhídrico y bromhídrico, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, PCBS, dioxinas y furanos, y metales, entre otros (Martínez, Mallo, Lucas, Álvarez, Slavarrey, & Gristo, 2005). En el proceso se generan residuos sólidos (cenizas y escorias constituidas por el material no combustible). Los procesos térmicos ofrecen tiempos muy rápidos pero son generalmente de los más caros en remediación. Generalmente se debe a los costos de energía, equipos y por el uso de mano de obra muy calificada. Los procesos térmicos utilizan la temperatura para incrementar la volatilidad, quemado, descomposición o función de los contaminantes. El volumen de residuos generados que requieren tratamiento o disposición es mucho menos que el inicial (Van Deuren, Wang, & Ledbetter, 1997).

Diagrama de proceso de decisión

El diagrama de proceso de decisión es una herramienta que propone un método sistemático de obtención de información acerca de cuáles son los caminos para alcanzar un objetivo concreto, qué obstáculos pueden presentarse, cómo se pueden prevenir, y, en caso de que se presenten, qué debemos hacer (Camisón, Cruz, & Gonzáles, 2007).

Figura 42. Análisis de tratamiento a lámparas fluorescentes y confinamiento final. Elaboración propia a partir de Gestión de la calidad. Conceptos, enfoques, modelos y sistemas (Camisón, Cruz, & Gonzáles, 2007)

| | | MÉTODOS DE TRATAMIENTO | | | | |
|-----------------------|---------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|----|
| | | REMEDIACIÓN BIOLÓGICA | INCINERACIÓN | REMEDIACIÓN TÉRMICA | REMEDIACIÓN QUÍMICA | |
| Limitantes del método | | 4 1 | 2 1 | 2 | 3 | |
| MEDIO AMBIENTE | Atmosférico | Aire | 1 4 | 4 1 | 1 | 2 |
| | | Ruido | 1 3 | 2 1 | 2 | 1 |
| | Hídrico | Superficial | 1 3 | 4 1 | 1 | 2 |
| | | Subterránea | 1 3 | 4 1 | 1 | 2 |
| | Suelo | Estado natural | 2 4 | 2 1 | 1 | 1 |
| | | Vegetales | 1 3 | 2 1 | 1 | 1 |
| | Flora y fauna | Animales | 1 3 | 2 1 | 1 | 1 |
| | | Económico | Costo de proyecto | 4 4 | 2 2 | 3 |
| | TOTAL | | 17 28 | 27 10 | 14 | 18 |
| | | | CONFINAMIENTO EN SUPERFICIE | A GRAN PROFUNDIDAD | | |
| | | ALMACENAMIENTO | | | | |

Donde

1 SIN FUGAS / NO APLICA

2 BAJO

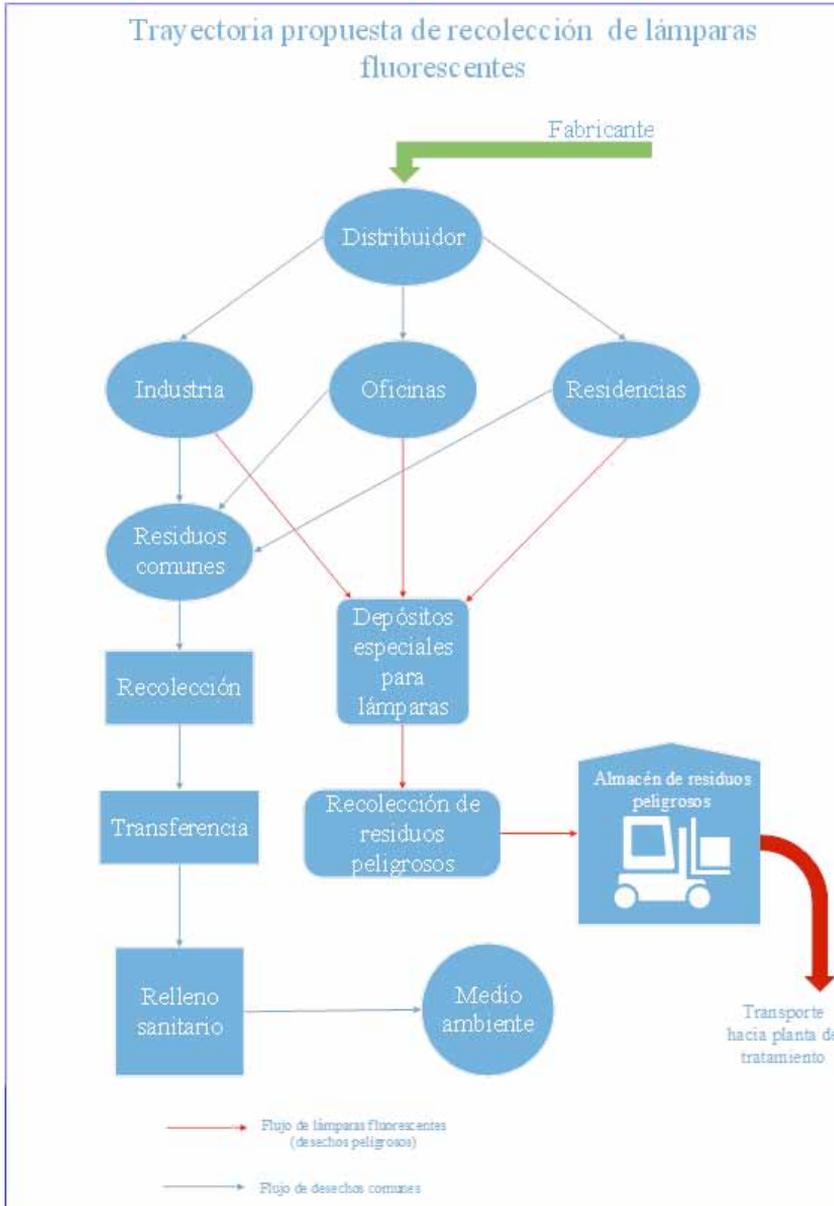
3 MEDIO

4 ALTO

El método que se debe escoger es el de remediación térmica. El almacenamiento que produce menos efectos adversos es el confinamiento a gran profundidad.

Propuesta de tratamiento y recolección de lámparas que contienen mercurio

Figura 43. Trayectoria propuesta de recolección de lámparas fluorescentes. Elaboración propia



En la propuesta es estable un nuevo flujo de los desechos peligrosos que contienen mercurio. Para lograr esto se necesita que existan contenedores donde se pueda almacenar las lámparas fluorescentes en desuso, ya sea en residencias, oficinas o plantas industriales. Los contenedores deben estar ubicados lo más retirado posible de las personas.

La fragilidad de las lámparas es una variable que impide que cualquier contenedor sea el adecuado para su transporte. En la recolección se debe adoptar las medidas de seguridad para evitar la fuga de gases en caso de rotura de las lámparas. El contenedor propuesto para la recolección y transporte posee un sello de silicón con cierre a presión a través de dos pernos. La capacidad máxima de los contenedores es de 144 lámparas de 155 cm de longitud, con bases de poliestireno de impacto para evitar que durante su transporte se puedan romper. Para el caso de otras luminarias fluorescentes, como lámparas circulares, compactas fluorescentes, de sodio de alta presión y de mercurio de alta presión, las divisiones internas pueden variar con mantas plásticas para separar con una capa de un grupo de lámparas, la protección contra rotura varía en función del tipo y forma de luminaria que se debe transportar.

El transporte de los contenedores debe ser hecho por vehículos de carga que posean elevadores para facilitar la carga y descarga de los contenedores. Estos vehículos deben ser completamente cerrados para evitar que los contenedores sean expuestos a temperatura ambiente, con la debida señalización de peligro.

Figura 44. Señalización para sustancias tóxicas y sustancias peligrosas para el medio ambiente (Martínez, Mallo, Lucas, Álvarez, Slavarrey, & Gristo, 2005) (Asociación Chilena de Seguridad ACHS, 2014)

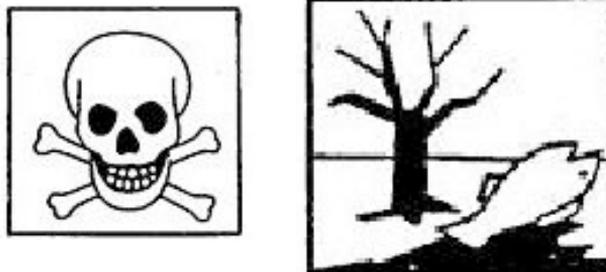
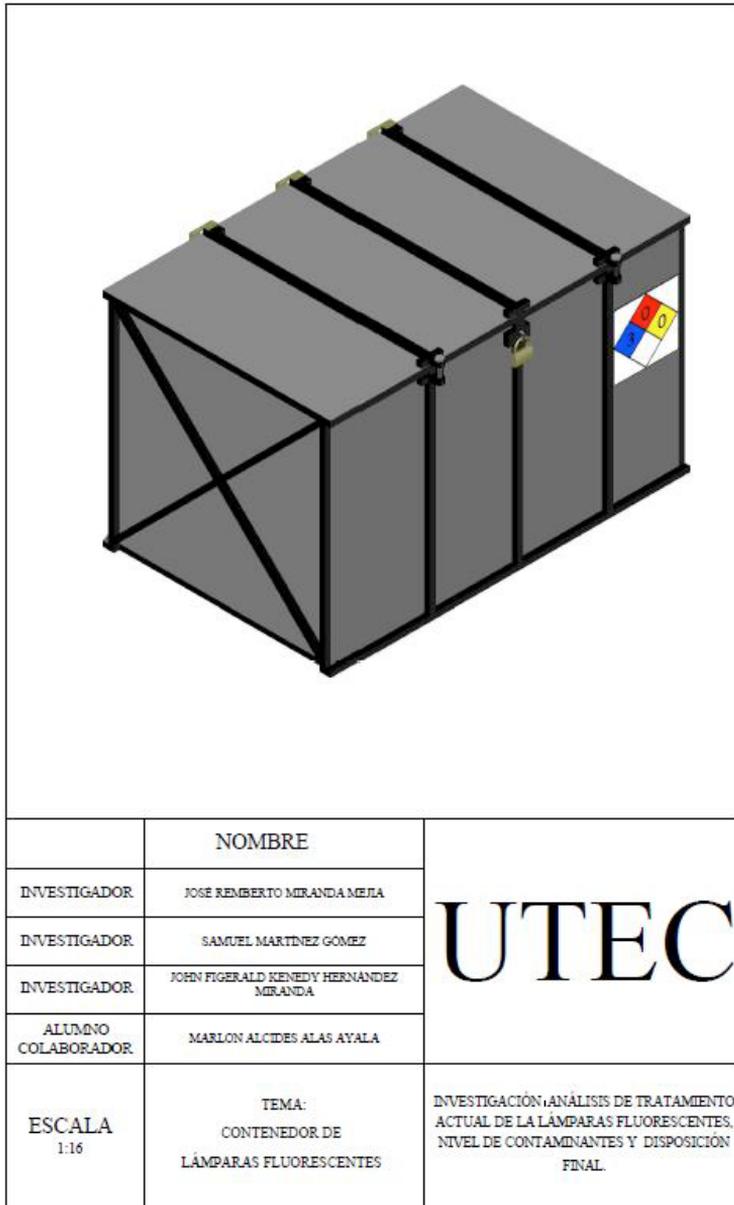


Figura 45. Contenedor propuesto para recolección, almacenamiento temporal y transporte a planta de tratamiento. Dibujo elaboración propia. Señal de seguridad para identificación de riesgos de materiales (National Fire Protection Association NFPA, 2012)



El contenedor para recolección de lámparas fluorescentes debe ser manejado por una persona, que tiene la responsabilidad de avisar a la institución que manejará este tipo de desecho peligroso (alcaldía o Gobierno central). Al momento de la recolección, el vehículo encargado de esta operación debe contar con contenedores vacíos, para sustituir los que va a retirar de las zonas residenciales, industrias u oficinas.

Almacenamiento temporal

Para la recolección de las lámparas, en la propuesta, se necesita una bodega para almacenamiento temporal, la cual debe estar a más de cien metros de cualquier casa de habitación más cercana debido a las características del elemento mercurio. En esta bodega se almacenan los contenedores, para luego ser trasladados hacia la planta, para el tratamiento de extracción del elemento mercurio de los desechos peligrosos.

Tratamiento de remediación térmica para la recuperación del mercurio

Los contenedores con las lámparas fluorescentes llegan de la bodega temporal de almacenamiento a la planta de tratamiento. El tratamiento comienza con el proceso Compact Crush & Separation Plant, en el que las lámparas son trituradas, compactadas, y se separan los elementos que la constituyen, para luego llevarlos al proceso térmico (MRT System, 2010).

Tabla 26. Datos técnicos de proceso de trituración y compactación de lámparas fluorescentes

MRT System Compact Crush & Separation Plant

Insumos CCS: tubos fluorescentes rectos, en forma de U y circulares

Materiales de entrada pretrituradora de lámparas / bombillas de bajo consumo CFL, lámparas

Materiales de salida: vidrio, polvo fluorescente, metales ferrosos, aluminio, e-base / zócalos

Capacidad: máximo 300 kg/hora (lámparas de tubo); máximo de 500 kg/hora (lámparas CFL)

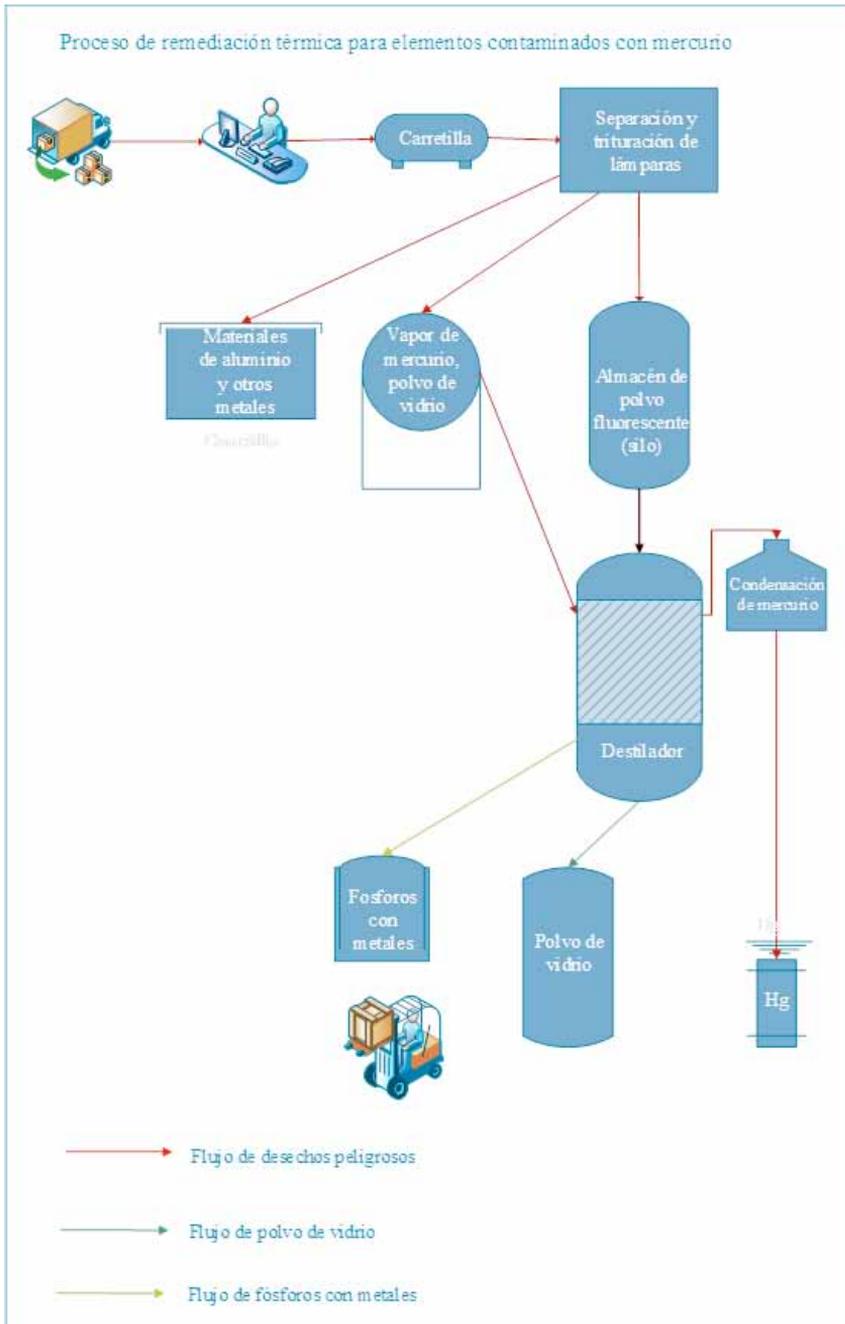
Colección material: 200 l tambor de acero/contenedor 1m³ (vidrio)

Procesos de retorta para recuperación de mercurio

La destilación del mercurio se da bajo condiciones de alta temperatura. Las diversas tecnologías que existen para recuperar el mercurio son amplias. La tecnología ofrecida por la empresa MRT System Sweden poseen procesos llamados de *retorta* con proceso de destilación continua y destiladores que procesan por lotes (Batch Process Distillers). La temperatura y presión varían en función del residuo que se debe tratar el proceso Batch utiliza un condensador de alta eficiencia, con temperaturas bajas para condensar el mercurio. En este proceso se utilizan filtros de carbón para retener trazas de mercurio en fase de vapor (MRT System, 2008).

Los residuos que pueden ser tratados mediante la tecnología de MRT System con el proceso de destilación por lotes (MRT Batch Process Distillers) son: polvo fluorescente, terminales de tubos fluorescentes, tubos de arco de lámparas HDI; pilas botón, termómetros, interruptores, amalgamas dentales y otros residuos con alta carga orgánica (MRT System, 2008).

Figura 46. Proceso de remediación térmica. Elaboración de esquema propio basado en proceso de remediación térmica de empresa MRT System.



Confinamiento final del mercurio destilado de las lámparas fluorescentes

El confinamiento final del mercurio en El Salvador no se puede hacer en superficie porque según respuesta de OIR de MARN (PNUMA, 2013) el país está entre los más afectados por el cambio climático, también, la estructura de las capas que conforman el subsuelo de El Salvador, en un 95 % son de origen volcánico, por lo que el subsuelo se encuentra formado por diferentes capas intercaladas de productos efusivos, tales como lavas, y por depósitos piroclásticos. Estos a su vez dan origen a una gran diversidad de tipos de suelos, dependiendo del grado de meteorización (alteración), la cual es en función de su edad. Es por eso que es difícil tipificar las capas que conforman el subsuelo de El Salvador (MARN, 2014).

Figura 47. Sección transversal de la tierra (por sectores) (O'Neill, 1998)

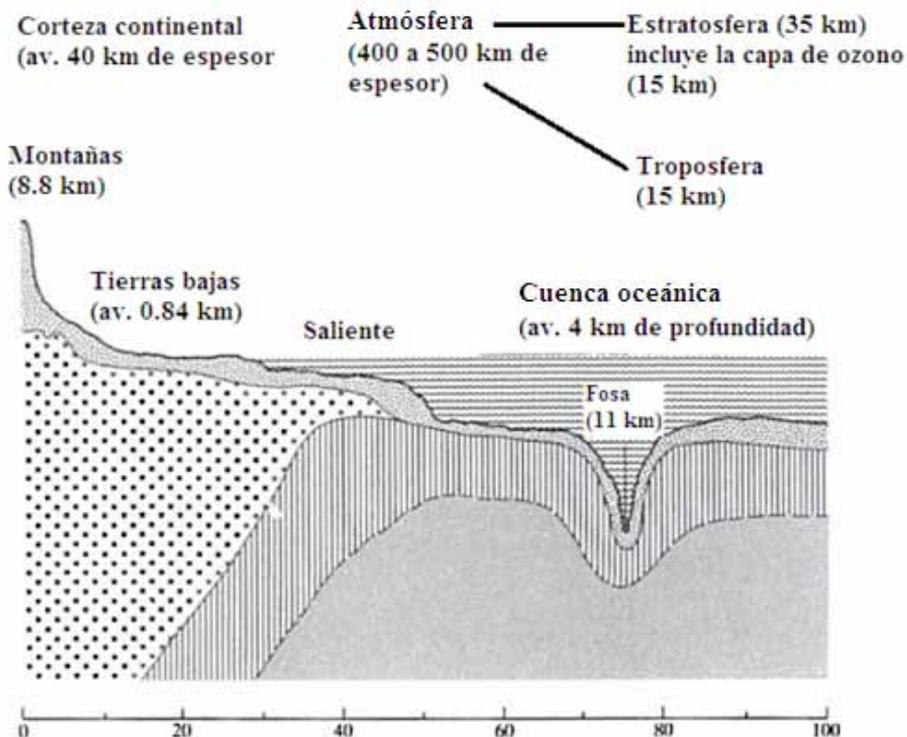


Figura 48. Indicando los principales elementos en diversos sectores (O'Neill, 1998)

| Sector | Elementos mayores en orden decreciente de concentración |
|---|---|
|  Atmósfera | N, O |
|  Océano | O, H (Cl, Na, Mg, S) |
|  Roca sedimentaria | O, Si, Al, Fe, Ca, K, Mg, C, Na |
|  Roca ígnea granítica | O, Si, Al, K, Na, Ca, Fe, Mg |
|  Roca ígnea basáltica | O, Si, Al, Fe, Ca, Mg |
|  Manto | O, Si, Mg, Fe |

En la figura 47 se muestra una sección transversal de la tierra y los principales elementos que la componen. La fecha más antigua de las rocas es de 3.800 millones años de edad. Durante los últimos cuatro mil millones años ha habido zonas continentales que constan de menos densidad (aproximadamente 2,7 gr /cm³), en comparación con las rocas de las cuencas oceánicas, que son rocas más densas (3,2 g/cm³). Durante este largo período de las diversas placas, se han movido, unido, roto y por lo tanto causado la formación y destrucción de continentes y océanos. Los terremotos, en la actualidad y las erupciones volcánicas son un recordatorio constante de que estos procesos a gran escala aún continúan (O'Neill, 1998). En la figura 48 se muestra el tipo de suelo que se necesita para el confinamiento en profundidad donde se conservaría el elemento mercurio a temperatura constante de forma estable.

Se recomienda que, para el confinamiento permanente, se haga en antiguas minas de sal abandonadas, en el caso del mercurio líquido. El mercurio es estabilizado en formaciones geológicas estables y no permeables (CE, 2011). Existe la opción de exportarlo a otros países que posean minas de sal abandonadas, que podrían recibir tanto mercurio elemental como residuos de alto contenido de mercurio. También en EE.UU se almacena el mercurio en estado líquido en superficie y en profundidad.

Confinamiento en superficie

Esta forma de disponer requiere mucho espacio de almacenamiento, a lo cual se suma el costo durante el tiempo de almacenaje, que puede ser durante muchos años (Brugnoni & Iribarne, 2006). También se ha demostrado, mediante mediciones, en el presente estudio, que las lámparas fluorescentes emiten mercurio sin necesidad de estar rotas, por lo cual tampoco es la mejor alternativa para su disposición final.

Conclusiones

- Las lámparas fluorescentes en desuso en El Salvador contaminan la atmósfera, según las mediciones realizadas en el presente estudio, porque no existe un reglamento que regule una disposición final de este tipo de desecho peligroso, ya que contiene mercurio, elemento considerado por la OMS como una de las diez sustancias más tóxicas para el ser humano y para la vida.
- Las personas en general desconocen la toxicidad del mercurio, según las visitas hechas a lugares donde se tomaron muestras de aire.
- En la visita a los lugares que se debían medir se constató la mala disposición de las lámparas fluorescentes, por lo que se necesita charlas para explicar a los usuarios que utilizan lámparas, los riesgos a los que se exponen ante los diferentes elementos contaminantes de las lámparas fluorescentes compactas, lineales; de alta presión de mercurio, de sodio y con halogenuros.
- Los vehículos recolectores de la basura son inadecuados para recoger lámparas que contienen mercurio cuando estas son desechadas, ya que se demostró mediante mediciones hechas en el trabajo de campo que, al romperse las lámparas fluorescentes, estas emitían gases de mercurio, por lo que vehículos recolectores de la basura emiten mercurio en su camino hacia el relleno sanitario.
- No existe un inventario, en El Salvador, de residuos peligrosos que contengan mercurio, según la respuesta de la OIR del MARN.
- No existe planta de tratamiento para desechos que contengan mercurio (amalgamas dentales, lámparas fluorescentes, termómetros, barómetros, Esfignomanómetros, termostatos, etc.) según respuesta de la OIR del MARN.
- Las lámparas fluorescentes lineales, circulares y compactas emiten mercurio al aire sin necesidad de estar rotas, pero no se puede generalizar que todas lo emitan, ya que esto depende de varios factores, como la manipulación, oxidación y otros.

- Según la fecha en que fue patentada la lámpara fluorescente, El Salvador tiene más de 74 años de consumir este tipo de productos sin que se haya dispuesto adecuadamente de los desechos peligrosos que contienen mercurio.
- No se deben de incinerar restos humanos que contengan amalgamas dentales de plata y mercurio.
- Los lugares donde se almacenan las lámparas en desuso deben de estar a 150 metros de las zonas habitadas.
- Las lámparas fluorescentes en desuso y todos aquellos que contiene mercurio son depositados en rellenos sanitarios, y cuando estos residuos son depositados, emitiendo gases a la atmósfera, y también cuando entra en contacto con los lixiviados, tiene la capacidad de llegar a los mantos freáticos según los estudios encontrados relacionados al tema del mercurio.
- El mercurio se sigue ocupando en diferentes actividades como en amalgamas dentales, donde está demostrado el daño que ocasiona a nivel neurológico en niños, según documento de EPA evaluación de la toxicidad y la exposición para la salud infantil.
- No existen estudios en El Salvador, sobre el grado de contaminación que poseen los rellenos sanitarios que reciben los desechos de todo el país.

Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar un inventario de residuos peligroso (vigilancia y control), ya que según información obtenida del MARN, hasta diciembre de 2014 no se tiene inventario sobre residuos peligrosos que contengan mercurio en El Salvador.
- Señalizar en los lugares donde se almacenan los residuos que contienen mercurio, ya que, según ASTDR, PNUMA, ACGIH, OMS y otras

instituciones, el mercurio es el metal más tóxico; y que debido a sus propiedades se volatiliza, representando un peligro su almacenamiento cerca de zonas poblacionales.

- Señalar la incompatibilidad del mercurio con otras sustancias en los lugares donde se almacenan estos residuos, según normas NFPA, fichas internacionales de seguridad química y OIT.
- Establecer una norma para el mercurio y sus compuestos, ya que según información obtenida del MARN, a diciembre del 2014 no existen normas para el control del mercurio en El Salvador.
- Dar tratamiento de remediación térmica a todos los equipos médicos, electrónicos, mecánicos y otros que contengan mercurio, ya que, según evaluación en matriz de análisis de tratamiento a lámparas fluorescentes y confinamiento final para los desechos contaminados con mercurio, el tratamiento de remediación con destilación de mercurio de MRT System presenta la mejor solución para extraer el mercurio de los desechos peligrosos; u otra empresa que tenga la tecnología y que cumpla con los normas de seguridad para dicha operación de remediación.
- Se recomienda establecer lugares de almacenamiento temporal de forma segura, para las lámparas fluorescentes, de presión de vapor, de sodio, fluorescentes compactas y otros equipos que contienen mercurio, porque las mediciones en los lugares visitados han demostrado que no necesariamente las lámparas deben estar rotas para emitir mercurio.
- Se recomienda no vender mercurio elemental ni combinado con otras sustancias al público, por ser una de las diez sustancias más peligrosas para la vida humana, según la OMS.
- Se recomienda firmar el convenio de Minamata, para regular la importación de mercurio elemental y sus compuestos a El Salvador, debido a que, por las características químicas de este elemento puede contaminar suelo, agua y aire.

- Establecer puntos de recolección en las zonas urbana y rural, de luminarias y otros instrumentos que contengan mercurio, y utilizar contenedores que cumplan con normas de seguridad para la recolección y traslado de este tipo de desechos peligrosos.
- Se recomienda no depositar los desechos que contienen mercurio en los rellenos sanitarios del país. Debe dárseles el tratamiento adecuado bajo remediación térmica y destilación controlada, según especificaciones técnicas de la empresa MRT System u otra que cumpla con normas rigurosas de seguridad para este proceso.
- No utilizar desechos peligrosos que contengan mercurio para elaborar artesanías, como se ha observado en el caso de las lámparas fluorescentes en algunos lugares de El Salvador.
- La eliminación del uso del mercurio en productos y procesos, control de las materias primas y objetos que contienen mercurio.
- La eliminación de la minería del mercurio y productos que generan liberaciones. El control de las liberaciones de mercurio mediante la gestión de desechos que contienen el elemento para su disposición final.

Referencias

- ATSDR (2012). Datos básicos sobre el mercurio. Efectos a la salud por exposición al mercurio. Recuperado de: http://www.atsdr.cdc.gov/mercury/docs/11-229617-FSpan-508_Efectos_a_laSalud.pdf
- ACGIH. (2012). ACGIH® Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs). Book. Copyright 2012.
- Angulo, A.L.; & Romero, R.M. (2006). Análisis de alternativas para el manejo de lámparas fluorescentes de tubo desechadas. Bogota, D.C.: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y

Sanitaria. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14104/00798194.pdf?sequence=1>

Araujo, F.M. (2008). Curso de reacciones electroquímicas. Centro de equilibrios en solución. Universidad Central de Venezuela (UCV). P.12. Recuperado de: <http://www.ciens.ucv.ve/eqsol/Electroquimica/Clases/clases/Historia.pdf>

Asociación Chilena de Seguridad, ACHS (2014). Manual de sustancias peligrosas- Clasificación e información de riesgos. Asociación Chilena de Seguridad. Recuperado de: http://www.asimet.cl/pdf/msp_ACHS.pdf

Barbosa, A. C., De Sousa, J., Do Rea, J.G.; Jardim, F.W.; & Fadini, P.S. (2003). Mercury Biomagnification in a Tropical Black Water, Río Negro, Brazil. Brasilia: Environmental Contamination. Toxicologia. 45, 235-246.

Banco Central de Reserva de El Salvador, BCR, & Ministerio de Hacienda-Dirección General de Aduanas (2014). Importación de productos que contienen mercurio. Banco Central de Reserva, resolución de información RAIP N° 042/2013 y Ministerio de Hacienda-Dirección General de Aduanas. IM-057868.

Brugnoni, M.F. & Iribarne, R. (2006). Estudio de impactos en redes de distribución (I) y medio ambiente (II) debido al uso intensivo de lámparas fluorescentes compactas. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/eficiencia/Estudio%20de%20Impactos%20en%20Redes%20de%20Distrib%20por%20LFCs.pdf>

Camisón, C., Cruz, S., & Gonzáles, T. (2007). *Gestión de la calidad. Conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. (1291-1294). Printed in Spain. Pearson. Prentice Hall.

Clark, R. B. (2001). Marine Pollution. Oxford University press. Printed in Great Britain. Fifth edition.

CE. (2011). Directiva 2011/97/UE del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea. 10.12.2011. L 328/49.

Conama (2009). Plan Nacional para la Gestión de los Riesgos del Mercurio. Gobierno de Chile. Recuperado de:
http://www.sinia.cl/1292/articles-45524_Plan_actualizado_Junio2009.pdf

Constantinou, E.; Gerath, M.; Mitchell, D. & Seigneur, C. (1995). *Mercury from power plants: a probabilistic approach to the evaluation of potential health risks*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Water, Air, and Soil Pollution 80:1129-1138.

Cook, B. (1998). High-Efficiency Lighting in Industry and Commercial Buildings. Originally published in: Power Engineering Journal, IEE, October 1998.

Dräger (2014). Dräger X-act 5000, bomba automática para tubos Dräger. Lübeck, Alemania. Recuperado de: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Products/cin_x-act_5000/US/9046996_PI_X-act_5000_EN_111113_fin.pdf

Dräger (2011). *Dräger-Tubes & CMS Handbook*. Lübeck. *Soil, Water, and Air Investigations as well as Technical Gas Analysis*. Publisher: Dräger Safety AG & Co KGaA. Edición 16th.

Dräger (2011). *Vapor de mercurio. Tubo de control Dräger*. Dräger safety AG & Co. KGaA edición 14.

Echazú, R., & Cadena, C. (2012). Medida en laboratorio de la emisión UV emitida por lámparas fluorescentes compactas, Salta, República de Argentina: Asades Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.

ELT (2006). Lámparas fluorescentes. Zaragoza: ELT. Recuperado de:
<http://www.elt.es/documentos/dossier.pdf>

EPA & FDA (2004). *Lo que usted necesita saber sobre el mercurio en el pescado y mariscos*. Silver Spring, Maryland & Washington: EPA-823-F-04-010.

EPA (2001). South florida mercury monitoring and modeling pilot study. Technical Report EPA/600/R-00/102. Recuperado de:
http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=63310

EPA. (1997). Locating and estimating air emissions from sources mercury and mercury compounds. EPA-454/R-97-012.

EPA (1994). Evaluación de mercurio en emisiones de lámparas fluorescentes rotas. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/mercury.txt>

Flavin D. (2008). *Proyecto Marfa*. ARQ (Santiago). Santiago Dic. 2008 n° 70

General Electric. (2014). Lámparas fluorescentes. G.E. Recuperado de:
<http://www.google.com.sv/url?url=http://www.guzman.cl/catalogo/394/descargarCatalogo&ret=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=pTOCVNafDMbgsAS394C4Cg&ved=0CB8QFjAFOAo&usg=AFQjCNGM-ZTbLzft4DhQo7fbuZwXLiVF3Q>

Hernández-Pando R.; Pedraza-Chaverri J.; Orozco-Estévez, H.; Silva-Serna, P.; Moreno, I.; Rondán-Zárate, A.; Elinos, M.; Correa-Rotter, R. & Larriva-Sahb, J. (1995). Histological and subcellular distribution of 65 and 70 kD heat shock proteins in experimental nephrotoxic injury. US National Library of Medicine, National Institute of Health, Exp Toxicol Pathol. 1995 Dec.;47(6):501-8.

Indalux (2002). Lámparas. Luminotecnia. Recuperado de:
http://www.ehu.es/alfredomartinezargote/tema_4_archivos/luminotecnia/08.%20Lamparas.pdf

INECC (2000). Diagnóstico del Mercurio en México. Recuperado de:
http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/Diagnostico_hg_mx_2002.pdf

- INTI (2014). Proyecto SAICM QSP: Mercurio en productos domésticos. Recuperado de: <http://crsbasilea.inti.gov.ar/mer-lamparas.htm>
- IPCS & CE (2005). Fichas internacionales de seguridad química. CE / EINECS: 231-106-7
- Junta de Extremadura. (2015). Luz visible entre longitudes de onda entre 380 y 780 nm. Recuperado de: http://iesmjuancalero.juntaextremadura.net/archivos_insti/recurdptos/etic_filos/percepciones/fisicos.htm
- Kayumov L., Lowe A., Rahman S.C., Casper R. & Shapiro C. (2007). Prevención de la supresión de la melatonina por la iluminación nocturna. Relevancia para el cáncer. *European Journal of Cancer Prevention*: August 2007 - Volume 16 - Issue 4 - pp 357-362.
- Lamborg, Carl H.; Hammerschmidt, Chad R.; Bowman, Katlin L.; Swarr, Gretchen J.; Munson, Kathleen M.; Ohnemus, Daniel C.; Lam, Phoebe J.; Heimbürger, Lars-Eric; Rijkenberg, Micha J. A.; Mak A. Saito (2014). A global ocean inventory of anthropogenic mercury based on water column measurements. *Nature* 512, 65-68, (07 August 2014).
- MARN. (2014). Informacion MARN-OIR-2014-240.
- Martínez F. (2003). *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales*. Editorial Paraninfo
- Martínez, J.; Mallo, M.; Lucas, R.; Álvarez, J.; Slavarrey, A.; & Gristo, P. (2005). Guía para la gestion integral de desechos peligrosos. Tomo I. Montevideo, Uruguay: Centro coordinador para el convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Recuperado de: http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/centers/proj_activ/stp_projects/08-02.pdf
- Martínez, J.; Mallo, M.; Lucas, R.; Alvarez, J.; Slavarrey, A.; & Gristo, P. (2005A). Guía para la gestión integral de residuos peligroso. Fichas temáticas tomo II. Montevideo, Uruguay: Centro coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Recuperado de:

http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/gestion_r02-fichas_tematicas.pdf

Martínez, X. G. (2004). El mercurio como contaminante global. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3174/xgm1de1.pdf;jsessionid=DDCB71F4B7F0DA1B81950878930E0542.tdx2?sequence=1>

Montenegro, K.L., & Nicolalde, A.S. (2012). Diagnóstico y evaluación experimental del tratamiento de lámparas fluorescentes mediante el equipo Balcan modelo FSL 110 en Incinerox Cia. Ltda. Distrito metropolitano de Quito. Universidad Central de Ecuador, UCE. Recuperado de: www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/490/1/T-UCE-0012-131.pdf

Montero, I., & León, O. G.. (2007). A guide for naming research studies in psychology. Madrid, España: *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2007. Vol. 7 N° 3, pp.847-862.

MRT System (2008). MRT Bath Process Distillers. Version 2.0. 2 de Oct. Recuperado de: <http://www.mrtsystem.com/products/lamp-recycling/>

NFPA (2012). Standar system for the identificaction of the hazards of materials for emergency response NFPA 704. NFPA, Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471. An International Codes and Standard Organization, Edition 2012.

O'Donell, B.M.; Sandoval, J.D.; & Paukste, F. (s/f). Capítulo 4. Fuentes luminosas. Recuperado de: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>

O'Neill, P. (1998). *Enviromental chemistry*. Published by Blackie Academic & Professional, an Imprint of Thomson Science, printed in Great Britain by T. J. international, Padstow, Cornwall. Third edition 1998.

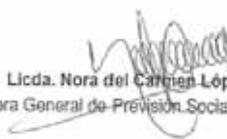
O'Neill, P. (1993). *Enviromental chemistry*. Chapman & Hall. Printed in Great Britain, London. Second edition 1993.

- OIT (2013). Metales: Propiedades químicas y toxicidad. Ginebra, Suiza: OIT. Recuperado de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>
- OMS (2013). El mercurio y la salud. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>
- OPS (2013). Curso de orientación para el control de la contaminación del aire. Washington D. C.: OPS. Recuperado de: http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/toxicol/lecc6/lecc6_3.html
- PNUMA (2013). El mercurio en productos y desechos. Nairobi. Recuperado de: http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/AwarenessPack/Spanish/UNEP_Mod1_Spanish_Web.pdf
- PNUMA (2002). *Evaluacion mundial sobre el mercurio*. Ginebra, Suiza: Publicado por el PNUMA Productos Químicos. Versión en español publicada en junio de 2005.
- Prestbo, E., & Bloom, N. (1995). Mercury speciation adsorption (MESA) method for combustion flue gas: Methodology, artifacts, intercomparison, and atmospheric implications. Springer. February 1995, Volumen 80, Issue 1-4, pp 145-158
- Rey, R.N. & Gallardo, I.A. (2011). *Caracterización de lámparas fluorescentes compactas usadas*. Redisa UJI, pp. 15-20.
- Seigneur, C.; Wrobel, J., & Constantinou, E. (1994). *A chemical kinetic mechanism for atmospheric inorganic mercury*. American Chemical Society., in press. *Revue Environmental science & technology*. Vol. 28. N° 9. 1589-1597.
- Sellers, K. (1999). *Fundamentals of hazardous waste site remediation*. Florida: Lewis Publishers is an imprint of CRC press LLC.
- Sendra P.F. (2013). Radiación ultravioleta. Recuperado de: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/ultravioleta-morrillo.pdf>

- Shrock, J.; Bowser, J., Mayhew, W., & Stevens, R.K. (2001). Technical Report EPA/600/R-00/102. South florida mercury monitoring and modeling pilot study. En J. B. Shrock J., *Technical Report EPA/600/R-00/102*.
- Sierra Club (2011). This much mercury can contaminate a 20-acre lake-U.S. coal-fired power plants produce 48 tons of it each year. *Sierra Magazine*. Published Nov/Dec 2011.
- UGR (2013). Química inorgánica ambiental. Metales pesados toxicos. El Mercurio. UGR. Recuperado de: http://www.ugr.es/~mota/QIA_TEMA-3_Hg.pdf
- Van Deuren, J.Z.; Wang, & Ledbetter, J. (1997). Technology Innovation Office EPA. Technologies screening matrix and reference guide 3a ed.
- Velasco, A.; Ramírez, M.; Volke-Sepulveda, T.; González-Sánchez, A.; & Revah, S. (2007). Evaluation of feed COD/sulfate ratio as a control criterion for the biological hydrogen sulfide production and lead precipitation. Elsevier. *Journal of Hazardous Materials* 151 (2008), 407-413.
- Yacuzzi.E. (2008). Chisso Corporation y la Enfermedad de Minamata. Buenos Aires: Universidad del Cema. Recuperado de:
<http://www.aotsargentina.org.ar/userfiles/CHISSO%20CORPORATION%20Y%20LA%20ENFERMEDAD%20DE%20MINAMATA.pdf?PHPSESSID=15ec0e4788b9b81fe4a07b6c0d9aae4d>

Anexos

Anexo 1. Carta de apoyo, a la investigación, del Ministerio del Trabajo y Previsión Social.

| | |
|---|--|
|  <p>MINISTERIO DE TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL REPUBLICA DE EL SALVADOR UNÁMONOS PARA CRECER</p> |  |
| <p>San Salvador, 15 de agosto de 2014.</p> | |
| <p>Licda. Noris Isabel López Vicerrectora de Investigación Universidad Tecnológica de El Salvador Presente.</p> | |
| <p>En relación a escrito de fecha 30 de junio del presente año, presentado a la Licda. Sandra Edibel Guevara Pérez, en su Calidad de Ministra de Trabajo y Previsión Social, Solicitándole apoyo en el Proyecto de Investigación "Análisis de Tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, a nivel de contaminantes y propuesta de disposición Final", dirigida por el Ing. José Remberto Miranda, Investigador de la Dirección de Investigaciones de la Universidad Tecnológica de El Salvador.</p> | |
| <p>Tengo a bien hacerle de su conocimiento que la señora Ministra de esta Cartera de Estado, según marginado de fecha 07 de julio de 2014, ha girado instrucciones a la suscrita, para que se apoye y se le asigne el acompañamiento con un funcionario de esta Dirección General, en el Proyecto de Investigación, el cual abarcará el medio ambiente y por supuesto la Salud de las Trabajadoras y Trabajadores de los lugares de trabajo.</p> | |
| <p>Ocasión que aprovecho para expresarle las muestras de mi consideración.</p> | |
| <p>Atentamente,</p> | |
| <p> Licda. Nora del Carmen López Lainez Directora General de Previsión Social y Empleo</p>  | |
| <hr/> <p>Alameda Juan Pablo II y 17 Avenida Norte; Edificio 4 Segunda Planta. Tel. 25293876</p> | |

Anexo 2. Carta de autorización del Ministerio de Salud para el análisis de aire



Oficio N° 2014-6000-123
San Salvador, 17 de octubre de 2014

Licenciada
Noris Isabel López
Vicerrectora de Investigación
Universidad Tecnológica de EL Salvador

Estimada Licenciada López:

En respuesta a su nota de fecha 30 de septiembre del presente año, en la cual nos informa que se está ejecutando el proyecto de investigación "Análisis de tratamiento de las lámparas fluorescentes, niveles de contaminación y propuesta de disposición final", para lo cual solicita autorización del Ministerio de Salud.

Al respecto tengo a bien informarle que es favorable dicha autorización, y así mismo quedo como contacto el Ingeniero Juan Carlos Mercado, a quien puede contactar al correo electrónico jmercado@salud.gob.sv o al teléfono 2205-7277.

Atentamente,



Dra. Elvia Violeta Menjivar Escalante
Ministra de Salud

C.c. Ing. Juan Carlos Mercado, Jefe de la Unidad de Conservación y Mantenimiento

Calle Arce #627, San Salvador, El Salvador, Tel: 2205-7334/7335 Fax: 2221-0965
www.salud.gob.sv

Anexo 3. Información sobre importación de productos que contienen mercurio



Dirección General de Aduanas

17 DIC. 2014

MINISTERIO DE HACIENDA
GOBIERNO DE
EL SALVADOR
UNÁMONOS PARA CRECER

Ilopango, 11 de diciembre de 2014
Ref. DGA- DAR - 27-2014

ASUNTO: Información sobre importación de Productos que contienen mercurio.

Ingeniero
José Remberto Miranda
Investigador y Coordinador
Dirección de Investigaciones
Universidad Tecnológica de El Salvador
Presente.

Hago referencia a Nota de fecha 11 de noviembre de 2014, con número de entrada IM-057868, mediante la cual expresa que se encuentran realizando una investigación que permitirá desarrollar proyectos pertinentes en pro del medio ambiente, y para tal fin solicita los valores CIF, FOB o Unidades según partidas, de los productos importados al país que contienen mercurio, detallados en el CD que se adjunta a la solicitud.

Al respecto, de conformidad al detalle presentado se obtuvo información del Sistema Informático de Aduanas con la información de los Incisos arancelarios proporcionados para su investigación, por lo que se anexa el reporte de importaciones con los valores CIF, DAI e IVA, así como los valores de cuantía y peso, cabe aclarar que en los registros informáticos que se disponen en esta Dirección General, se cuenta con información a partir del año 2002.

Asimismo es importante hacer mención que la información proporcionada, contiene tanto las importaciones de mercancías que utilizan mercurio y las que no, por lo que los valores corresponden al total de las importaciones bajo los incisos objeto de consulta en el período solicitado, lo anterior debido a que arancelariamente no es posible su separación; además en algunos casos los avances tecnológicos en dichos productos hacen que esta sustancia ya no sea utilizada para la fabricación de los mismos.

Se adjunta CD conteniendo la información requerida.

Cordialmente,



Carlos Alfredo Sandoval
Director General
Dirección General de Aduanas



AENOR
ER
Especificaciones
Registadas
por el gobierno

Xm. 11.5 Carretera Panamericana, San Bartolo, Ilopango, El Salvador, C.A.
Computador Tel: (503) 2244-5500, Atención al Usuario Tel: (503) 2244-5182 Fax: (503) 2244-5183
Sitio Web: www.mh.gov.sv correo electrónico: usuario_dga@mh.gov.sv



IQNet
INTERNET
CERTIFICACIÓN

CERTIFICADA BAJO LA NORMA ISO 9001 POR LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN

Anexo 4

Tabla 27. Niveles de mercurio en los pescados y mariscos comerciales según FDA (1990-2010)

| SPECIES | MERCURY CONCENTRATION (PPM) | | | | | N° OF SAMPLES | SOURCE OF DATA |
|---|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|---------------|------------------|
| | MEAN | MEDIAN | STDEV | MIN | MAX | | |
| ANCHOVIES | 0.017 | 0.014 | 0.015 | ND | 0.049 | 14 | FDA 2007-2010 |
| BASS (SALTWATER, BLACK, STRIPED) ³ | 0.152 | 0.084 | 0.201 | ND | 0.960 | 82 | FDA 1991-2010 |
| BASS CHILEAN | 0.354 | 0.303 | 0.299 | ND | 2.180 | 74 | FDA 1994-2010 |
| BLUEFISH | 0.368 | 0.305 | 0.221 | 0.089 | 1.452 | 94 | FDA 1991-2009 |
| BUFFALOFISH | 0.137 | 0.120 | 0.094 | 0.032 | 0.430 | 17 | FDA 1992-2008 |
| BUTTERFISH | 0.058 | N/A | N/A | ND | 0.36 | 89 | NMFS REPORT 1978 |
| CARP | 0.110 | 0.134 | 0.099 | ND | 0.271 | 14 | FDA 1992 - 2007 |
| CATFISH | 0.025 | 0.005 | 0.057 | ND | 0.314 | 57 | FDA 1991-2010 |
| CLAM * | 0.009 | 0.002 | 0.011 | ND | 0.028 | 15 | FDA 1991-2010 |
| COD | 0.111 | 0.066 | 0.152 | ND | 0.989 | 115 | FDA 1991-2010 |
| CRAB ¹ | 0.065 | 0.050 | 0.096 | ND | 0.610 | 93 | FDA 1991-2009 |
| CRAWFISH | 0.033 | 0.035 | 0.012 | ND | 0.051 | 46 | FDA 1991 -2007 |
| CROAKER ATLANTIC (Atlantic) | 0.065 | 0.061 | 0.050 | ND | 0.193 | 57 | FDA 2002 - 2009 |
| CROAKER WHITE (Pacific) | 0.287 | 0.280 | 0.069 | 0.180 | 0.410 | 15 | FDA 1997 |
| FLATFISH ^{2*} | 0.056 | 0.050 | 0.045 | ND | 0.218 | 71 | FDA 1991-2009 |
| GROUPER (ALL SPECIES) | 0.448 | 0.399 | 0.278 | 0.006 | 1.205 | 53 | FDA 1991-2005 |

| SPECIES | MERCURY CONCENTRATION (PPM) | | | | | N° OF SAMPLES | SOURCE OF DATA |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|---------------|----------------------------|
| | MEAN | MEDIAN | STDEV | MIN | MAX | | |
| HADDOCK (Atlantic) | 0.055 | 0.049 | 0.033 | ND | 0.197 | 50 | FDA 1991-2009 |
| HAKE | 0.079 | 0.067 | 0.064 | ND | 0.378 | 49 | FDA 1994-2009 |
| HALIBUT | 0.241 | 0.188 | 0.225 | ND | 1.520 | 101 | FDA 1992-2009 |
| HERRING | 0.084 | 0.048 | 0.128 | ND | 0.560 | 26 | FDA 2006-2009 |
| JACKSMELT | 0.081 | 0.050 | 0.103 | 0.011 | 0.500 | 23 | FDA 1997-2007 |
| LOBSTER (NORTHERN / AMERICAN) | 0.107 | 0.086 | 0.076 | ND | 0.230 | 9 | FDA 2005-2007 |
| LOBSTER (Species Unknown) | 0.166 | 0.143 | 0.099 | ND | 0.451 | 71 | FDA 1991-2008 |
| LOBSTER (Spiny) | 0.093 | 0.062 | 0.097 | ND | 0.270 | 13 | FDA 1991-2005 |
| MACKEREL ATLANTIC (N. Atlantic) | 0.050 | N/A | N/A | 0.020 | 0.160 | 80 | NMFS REPORT 1978 |
| MACKEREL CHUB (Pacific) | 0.088 | N/A | N/A | 0.030 | 0.190 | 30 | NMFS REPORT 1978 |
| MACKEREL KING | 0.730 | N/A | N/A | 0.230 | 1.670 | 213 | GULF OF MEXICO REPORT 2000 |
| MACKEREL SPANISH (Gulf of Mexico) | 0.454 | N/A | N/A | 0.07 | 1.56 | 66 | NMFS REPORT 1978 |
| MACKEREL SPANISH (S. Atlantic) | 0.182 | N/A | N/A | 0.05 | 0.73 | 43 | NMFS REPORT 1978 |
| MARLIN * | 0.485 | 0.390 | 0.237 | 0.100 | 0.920 | 16 | FDA 1992-1996 |
| MONKFISH | 0.181 | 0.139 | 0.075 | 0.106 | 0.289 | 9 | FDA 2006-2008 |
| MULLET | 0.050 | 0.014 | 0.078 | ND | 0.270 | 20 | FDA 1991-2008 |
| ORANGE ROUGHY | 0.571 | 0.562 | 0.183 | 0.265 | 1.120 | 81 | FDA 1991-2009 |
| OYSTER | 0.012 | ND | 0.035 | ND | 0.250 | 61 | FDA 1991-2009 |

| SPECIES | MERCURY CONCENTRATION (PPM) | | | | | N° OF SAMPLES | SOURCE OF DATA |
|---------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|---------------|------------------|
| | MEAN | MEDIAN | STDEV | MIN | MAX | | |
| PERCH (Freshwater) | 0.150 | 0.146 | 0.112 | ND | 0.325 | 19 | FDA 1991-2007 |
| PERCH OCEAN * | 0.121 | 0.102 | 0.125 | ND | 0.578 | 31 | FDA 1991-2010 |
| POLLOCK | 0.031 | 0.003 | 0.089 | ND | 0.780 | 95 | FDA 1991-2008 |
| SABLEFISH | 0.361 | 0.265 | 0.241 | 0.090 | 1.052 | 26 | FDA 2004 - 2009 |
| SALMON (CANNED) * | 0.008 | ND | 0.017 | ND | 0.086 | 34 | FDA 1992-2009 |
| SALMON (FRESH/FROZEN) * | 0.022 | 0.015 | 0.034 | ND | 0.190 | 94 | FDA 1991-2009 |
| SARDINE | 0.013 | 0.010 | 0.015 | ND | 0.083 | 90 | FDA 2002-2010 |
| SCALLOP | 0.003 | ND | 0.007 | ND | 0.033 | 39 | FDA 1991-2009 |
| SCORPIONFISH | 0.233 | 0.181 | 0.139 | 0.098 | 0.456 | 6 | FDA 2007 - 2008 |
| SHAD AMERICAN | 0.045 | 0.039 | 0.045 | 0.013 | 0.186 | 13 | FDA 2007-2010 |
| SHARK | 0.979 | 0.811 | 0.626 | ND | 4.540 | 356 | FDA 1990-2007 |
| SHEEPSHEAD | 0.093 | 0.088 | 0.059 | ND | 0.170 | 6 | FDA 2007 - 2009 |
| SHRIMP * | 0.009 | 0.001 | 0.013 | ND | 0.050 | 40 | FDA 1991-2009 |
| SKATE | 0.137 | N/A | N/A | 0.04 | 0.36 | 56 | NMFS REPORT 1978 |
| SNAPPER | 0.166 | 0.113 | 0.244 | ND | 1.366 | 67 | FDA 1991-2007 |
| SQUID | 0.023 | 0.016 | 0.022 | ND | 0.070 | 42 | FDA 2005-2010 |
| SWORDFISH | 0.995 | 0.870 | 0.539 | ND | 3.220 | 636 | FDA 1990-2010 |
| TILAPIA * | 0.013 | 0.004 | 0.023 | ND | 0.084 | 32 | FDA 1991-2008 |
| TILEFISH (Atlantic) | 0.144 | 0.099 | 0.122 | 0.042 | 0.533 | 32 | FDA 2002-04 |
| TILEFISH (Gulf of Mexico) | 1.450 | N/A | N/A | 0.650 | 3.730 | 60 | NMFS REPORT 1978 |
| TROUT (FRESHWATER) | 0.071 | 0.025 | 0.141 | ND | 0.678 | 35 | FDA 1991 -2008 |

| SPECIES | MERCURY CONCENTRATION (PPM) | | | | | | N° OF SAMPLES | SOURCE OF DATA |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|--|---------------|-----------------|
| | MEAN | MEDIAN | STDEV | MIN | MAX | | | |
| TUNA (CANNED, ALBACORE) | 0.350 | 0.338 | 0.128 | ND | 0.853 | | 451 | FDA 1991-2010 |
| TUNA (CANNED, LIGHT) | 0.128 | 0.078 | 0.135 | ND | 0.889 | | 551 | FDA 1991-2010 |
| TUNA (FRESH/FROZEN, ALBA-CORE) | 0.358 | 0.360 | 0.138 | ND | 0.820 | | 43 | FDA 1992-2008 |
| TUNA(FRESH/FROZEN, ALL) | 0.391 | 0.340 | 0.266 | 0.000 | 1.816 | | 420 | FDA 1991 - 2010 |
| TUNA (FRESH/FROZEN, BIGEYE) | 0.689 | 0.560 | 0.341 | 0.128 | 1.816 | | 21 | FDA 1991 - 2005 |
| TUNA (FRESH/FROZEN, SKIP-JACK) | 0.144 | 0.150 | 0.119 | 0.022 | 0.260 | | 3 | FDA 1993 - 2007 |
| TUNA (FRESH/FROZEN, YE-LLOWFIN) | 0.354 | 0.311 | 0.231 | 0.000 | 1.478 | | 231 | FDA 1991-2010 |
| TUNA (FRESH/FROZEN, Species Unknown) | 0.415 | 0.339 | 0.308 | 0.000 | 1.300 | | 120 | FDA 1991-2010 |
| WEAKFISH (SEA TROUT) | 0.235 | 0.157 | 0.216 | 0.000 | 0.744 | | 46 | FDA 1991-2005 |
| WHITEFISH | 0.089 | 0.067 | 0.084 | ND | 0.317 | | 37 | FDA 1991-2008 |
| WHITING | 0.051 | 0.052 | 0.030 | ND | 0.096 | | 13 | FDA 1991-2008 |

Anexo 6.

Tabla 28. Características de la exposición, según especie de mercurio, por subcategoría identificadas en Chile (Conama, 2009).

| Origen del mercurio | Mercurio elemental | Mercurio inorgánico | Orgánico (metilmercurio) | Orgánico (etilmercurio) |
|---------------------|---|--|---|--|
| Uso principal | Amalgamas dentales | Productos cosméticos y farmacéuticos (usado como preservante) | Liberaciones de mercurio al agua se transforma en el medio en metil-mercurio por microorganismos y bacterias. | En vacunas como preservativo (el tiomersal corresponde a un 49 % de etilmercurio). |
| Otros usos | <ul style="list-style-type: none"> - Mineral del oro - Productos (pilas, lámparas fluorescentes, aparatos de medición) - Dispositivos médicos (termómetros, esfigmomanómetros) | <ul style="list-style-type: none"> - Desinfectantes y antimicrobianos - Equipos eléctricos - Equipos fotográficos | | |

- Liberaciónes secundarias a través de procesos
 - Combustión de carbón
 - Combustión de aceites minerales
 - Combustión de biomasa
 - Producción de cemento
 - Procesos con gas natural
 - Extracción primaria de metales
 - Producción de metales reciclados
 - Incineración de desechos médicos
 - Crematorios y cementerios
 - Sistemas de tratamientos de aguas residuales.

Tabla 28. Características de la exposición, según especie de mercurio, por subcategoría identificadas en Chile (Conama, 2009).

| | | | |
|-----------------------------|--|---|--|
| Fuentes de exposición. | Derrames hospitalarios o domiciliarios. Amalgamas dentales. | Consumo de pescado | |
| Vía de exposición | 80 % mediante inhalación 0.01 % mediante ingestión Absorción mínima por la piel. | Menor al 10 % mediante la ingestión. Pueden absorberse dosis letales mediante la piel. | Por ser vacuna se absorbe el 100 % del contenido de mercurio por la inyección de la sustancia. |
| Toxicidad primaria | Para la piel, ojos, pulmones y encías. | Tracto intestinal y riñones. | Aún en estudio. |
| Toxicidad secundaria | Sistema nervioso central, riñones. | Sistema nervioso central. | |
| Trasporte dentro del cuerpo | Se ha encontrado en leche materna. Cruza a través de la placenta. Atraviesa por el flujo sanguíneo la barrera del cerebro. | No llega fácilmente al cerebro, así como tampoco cruza con facilidad la placenta. Atraviesa por el flujo sanguíneo la barrera del cerebro. | Se ha encontrado en leche materna. Cruza a través de la placenta. Atraviesa por el flujo sanguíneo la barrera del cerebro. |

Nota: No considera dosis ni tiempo de exposición

Anexo 7.

Figura 50. Mascara full face 3M 7800-S



RECOPIACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES PUBLICADAS 2008-2015

| PRODUCTO | COLECCIÓN |
|--|--|
| Curso de Derecho Penal Salvadoreño. Parte General Volumen III. Teoría de la ley penal. Miguel Alberto Trejo Escobar | Colección Jurídica |
| Etnografía de salvadoreños migrantes en Brentwood y Hempstead Nueva York Jorge Arturo Colorado Berríos | Facultad de Ciencias Sociales |
| Proyecto de registro y reconocimiento de sitios arqueológicos históricos de El Salvador (PAHES-UTEC) José Heriberto Erquicia Cruz | Facultad de Ciencias Sociales Escuela de Antropología |
| En defensa de la Patria. Historia del Conflicto Armado en El Salvador 1980-1992 General Humberto Corado Figueroa | |
| Las controversiales fichas de fincas salvadoreñas. Antecedentes, origen y final. José Luis Cabrera Arévalo | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social. Escuela de Antropología |
| Recopilación Investigativa. Tomo I | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social |
| Recopilación Investigativa. Tomo II | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social |
| Recopilación Investigativa. Tomo III | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social |
| Apuntes sobre Mercadeo moderno José A. Exprúa | |
| El Estado Constitucional Dr. Mario Antonio Solano Ramírez | Colección Jurídica |
| Las agrupaciones ilícitas como delincuencia organizada Leonardo Ramírez Murcia | Colección Jurídica |
| La mujer dormida. Novela corta Eduardo Badía Serra | Colección Literaria |
| Koot. Revista de museología No. 1 | Museo Universitario de Antropología |
| De la ilusión al desencanto. Reforma económica en El Salvador 1989-2009 Juan Héctor Vidal | Colección Ciencias Sociales |
| Casa Blanca Chalchuapa, El Salvador. Excavación en la trinchera 4N Nobuyuki Ito | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social. Escuela de Antropología |

| | |
|---|--|
| Recopilación Investigativa 2009. Tomo 1 | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social |
| Recopilación Investigativa 2009. Tomo 2 | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social |
| Recopilación Investigativa 2009. Tomo 3 | Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social |
| El nuevo proceso civil y mercantil salvadoreño | Colección Jurídica |
| Koot. Revista de museología No. 2 | Museo Universitario de Antropología |
| Discursos en el tiempo para graduados y otros temas educativos José Adolfo Araujo Romagoza | |
| Recopilación Investigativa 2010 | Vicerrectoría de Investigación |
| Recopilación Investigativa 2010 | Vicerrectoría de Investigación |
| Recopilación Investigativa 2010 | Vicerrectoría de Investigación |
| Decisiones Dr. Jorge Bustamente | |
| Compendio Gramatical. José Braulio Galdámez | |
| Foro económico: El Salvador 2011 | Colección Ciencias Sociales |
| La violencia social delincencial asociada a la salud mental en los salvadoreños. Investigación Dr. José Ricardo Gutiérrez Quintanilla | Vicerrectoría de Investigación |
| Recopilación de investigación 2011 Tomo I | Vicerrectoría de Investigación |
| Recopilación de investigación 2011 Tomo II | Vicerrectoría de Investigación |
| Recopilación de investigación 2011 Tomo III | Vicerrectoría de Investigación |
| Programa psicopreventivo de educación para la vida efectividad en adolescentes UTEC-PGR Ana Sandra Aguilar de Mendoza- Milton Alexander Portillo | Vicerrectoría de Investigación |
| El lenguaje delincencial en El Salvador. Braulio Galdámez | |
| Medicina tradicional entre los indígenas de Izalco, Sonsonate, El Salvador Beatriz Castillo | Colección Ciencias Sociales |
| Contenido y proyección del anteproyecto de constitución política de 1950. Dr. Alfredo Martínez Moreno | Colección Jurídica |
| Revista Koot No 3 Dr. Ramón Rivas | Museo Universitario de Antropología |

| | |
|---|----------------------------------|
| Causas de la participación del clero salvadoreño en el movimiento emancipador del 5 de noviembre de 1811 en El Salvador y la postura de las autoridades eclesiales del Vaticano ante dicha participación. Claudia Rivera Navarrete | Colección Investigaciones |
| Estudio Histórico proceso de independencia: 1811-1823 Tomo II Dr. José Melgar Brizuela | Colección Investigaciones |
| El Salvador insurgente 1811-1821 Centroamérica. Tomo III César A. Ramírez A. | Colección Investigaciones |
| Antropología en El Salvador. Recorrido histórico y descriptivo Dr. Ramón Rivas | Colección Ciencias Sociales |
| Representatividad y pueblo en las revueltas de principios del siglo XIX en las colonias hispanoamericanas Héctor Raúl Grenni Montiel. | Colección Investigaciones |
| Guía básica para la exportación de la Flor de Loroco, desde El Salvador hacia España, a través de las escuelas de hostelería del País Vasco. Álvaro Fernández Pérez | Colección Investigaciones |
| La regulación jurídico-penal de la trata de personas especial referencia a El Salvador y España Hazel Jasmin Bolaños Vásquez | Colección Investigaciones |
| Infancia y adolescencia en la prensa escrita, radio y televisión salvadoreña Camila Calles Minero Morena Azucena Mayorga | Colección Investigaciones |
| Participación científica de las mujeres en El Salvador Primera aproximación Camila Calles Minero | Colección Investigaciones |
| Mejores prácticas en preparación de alimentos en la micro y la pequeña empresa José Remberto Miranda Mejía | Colección Investigaciones No. 29 |
| Evaluación de factores psicosociales de riesgo y de protección de violencia juvenil en El Salvador José Ricardo Gutiérrez Quintanilla | Colección Investigaciones No. 30 |
| Historias, patrimonios e identidades en el municipio de Huizúcar, La Libertad, El Salvador José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina Ariana Ninel Pleitez Quiñónez | Colección Investigaciones No. 31 |
| Condiciones socioeconómicas de preparación para la PAES de los estudiantes de Educación Media Saúl Campos Morán Paola María Navarrete | Colección Investigaciones No. 32 |

| | |
|---|---|
| <p>Inventario de las capacidades turísticas del municipio de Chilitupán, departamento de La Libertad Lisette Cristalina Canales de Ramírez Carlos Jonatán Chávez Mejía Mario Antonio Aguilar Flores</p> | <p>Colección Investigaciones No. 33</p> |
| <p>Delitos relacionados con la pornografía en personas menores de 18 años. Especial referencia a las tecnologías de información y la comunicación como medio comisivo Hazel Jasmin Bolaños Vásquez Miguel Ángel Boldova Pasamar Carlos Fuertes Iglesias</p> | <p>Colección Investigaciones No. 34</p> |
| <p>Condiciones culturales de los estudiantes de educación media para el aprendizaje del idioma inglés Saúl Campos Morán Paola María Navarrete Julio Anibal Blanco</p> | <p>Colección Investigaciones No. 35</p> |
| <p>Valoración económica del recurso hídrico como un servicio ambiental de las zonas de recarga en las subcuencas del río Acelhuate José Ricardo Calles</p> | <p>Colección Investigaciones No. 36</p> |
| <p>Migración forzada y violencia criminal: Una aproximación teórico-práctica en el contexto actual Elsa Ramos</p> | <p>Colección Investigaciones No. 37</p> |
| <p>La prevención del maltrato en la escuela. Experiencia de un programa entre alumnos de educación media Ana Sandra Aguilar de Mendoza José Manuel Andreu Rodríguez María Elena Peña Fernández</p> | <p>Colección Investigaciones No. 38</p> |
| <p>Percepción del derecho a la alimentación en El Salvador. Perspectiva desde la biotecnología Carolina Lucero Morán Jeremías Ezequiel Yanes Densy Samuel Trejo Quintana</p> | <p>Colección Investigaciones No. 39</p> |
| <p>Publicidad y violencia de género en El Salvador Camila Calles Minero Francisca Guerrero Morena L. Azucena Hazel Bolaños</p> | <p>Colección Investigaciones No. 40</p> |
| <p>El domo el güegüecho y la evolución volcánica.San Pedro Perulapán (departamento de Cuscatlán), El Salvador. Primer informe Walter Hernández Guillermo E. Alvarado Brian Jicha Luis Mixco</p> | <p>Colección Investigaciones No. 41</p> |

| | |
|--|---|
| <p>Imaginario colectivo, movimientos juveniles y cultura ciudadana juvenil en El Salvador Saúl Campos Morán Paola María Navarrete Carlos Felipe Osegueda</p> | <p>Colección Investigaciones No. 42</p> |
| <p>Estudio de buenas prácticas en clínica de psicología. Caso Utec Edgardo Chacón Andrade Sandra Beatriz de Hasbún Claudia Membreño Chacón</p> | <p>Colección Investigaciones No. 44</p> |
| <p>Modelo de reactivación y desarrollo para cascos urbanos Coralía Rosalía Muñoz Márquez</p> | <p>Colección Investigaciones No. 48</p> |
| <p>Historia, patrimonio e identidades en el municipio de Comasagua, La Libertad, El Salvador José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina</p> | <p>Colección Investigaciones No. 49</p> |
| <p>Evaluación del sistema integrado de escuela inclusiva de tiempo pleno implementado por el Ministerio de Educación de El Salvador (Estudio en las comunidades educativas del municipio de Zaragoza del departamento de La Libertad) Mercedes Carolina Pinto Benítez Julio Anibal Blanco Escobar Guillermo Alberto Cortez Arévalo Wilfredo Alfonso Marroquín Jiménez Luis Horaldo Romero Martínez</p> | <p>Colección Investigaciones No. 43</p> |
| <p>Niñas, niños, adolescentes y mujeres en la ruta del migrante</p> | <p>Colección Investigaciones No. 54</p> |
| <p>Aplicación de una función dosis-respuesta para determinar los costos sociales de la contaminación hídrica en la microcuenca del río Las Cañas, San Salvador, El Salvador José Ricardo Calles Hernández</p> | <p>Colección Investigaciones No. 45</p> |

RECOPIACIÓN DE COLECCIONES “CUADERNILLOS” 2008-2014

| TITULO | COLECCIÓN |
|---|-----------------------------|
| El método en la investigación. Breve historia del derecho internacional humanitario desde el mundo antiguo hasta el tratado de Utrecht Colección de Derecho No. 1 Dr. Jaime López Nuila Lic. Aldonov Frankeko Álvarez Ferrufino | Colección de Derecho |
| Modo de proceder en el recurso de casación en materias: civiles, mercantiles y de familia Colección de Derecho No. 2 Dr. Guillermo Machón Rivera | Colección de Derecho |
| La administración de justicia y la elección de los magistrados de la corte suprema de justicia luego de los acuerdos de paz Colección de Derecho No. 3 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez | Colección de Derecho |
| La Proyección Social una propuesta práctica Colección Cuaderno No. 1 Lic. Carlos Reynaldo López Nuila | Rectoría Adjunta |
| Hacia una nueva cultura jurídica en materia procesal civil y mercantil Colección de Derecho No. 4 Lic. Juan Carlos Ramírez Cienfuegos | Colección de Derecho |
| La educación: ¿derecho natural o garantía fundamental? Dr. Jaime López Nuila | Colección de Derecho |
| Realidad Nacional 1 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez | Colección Ciencias Sociales |
| Realidad Nacional 2 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez | Colección Ciencias Sociales |
| Realidad Nacional 3 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez | Colección Ciencias Sociales |
| Realidad Nacional 4 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez | Colección Ciencias Sociales |
| Realidad Nacional 5 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez | Colección Ciencias Sociales |

| | |
|---|---------------------------------------|
| <p>Realidad Nacional 6 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez</p> | <p>Colección Ciencias Sociales</p> |
| <p>Realidad Nacional 7 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez</p> | <p>Colección Ciencias Sociales</p> |
| <p>Obstáculos para una investigación social orientada al desarrollo Colección de Investigaciones Dr. José Padrón Guillen</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Estructura familia y conducta antisocial de los estudiantes en Educación Media Colección de Investigaciones No. 2 Luis Fernando Orantes Salazar</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Prevalencia de alteraciones afectivas: depresión y ansiedad en la población salvadoreña Colección de Investigaciones No. 3 José Ricardo Gutiérrez</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Violación de derechos ante la discriminación de género. Enfoque social Colección de Investigaciones No. 4 Elsa Ramos</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible. Fase I Colección de Investigaciones No. 5 Ana Cristina Vidal Vidales</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Importancia de Iso indicadores y la medición del quehacer científico Colección de Investigaciones No. 6 Noris López de Castaneda</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Situación de la educación superior en El Salvador Colección de Investigaciones No. 1 Lic. Carlos Reynaldo López Nuila</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>La violencia social delincencial asociada a la salud mental. Colección de Investigaciones No. 7. Lic. Ricardo Gutiérrez Quintanilla</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Estado de adaptación integral del estudiante de educación media de El Salvador Colección de Investigaciones No. 8 Luis Fernando Orantes</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Aproximación etnográfica al culto popular del Hermano Macario en Izalco, Sonsonate, El Salvador. Colección de Investigaciones No. 9 José Heriberto Erquicia Cruz</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |

| | |
|--|---------------------------------------|
| <p>La televisión como generadora de pautas de conducta en los jóvenes salvadoreños Colección de Investigaciones No. 10 Edith Ruth Vaquerano de Portillo Domingo Orlando Alfaro Alfaro</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Violencia en las franjas infantiles de la televisión salvadoreña y canales infantiles de cable Colección de Investigaciones No. 11 Camila Calles Minero Morena Azucena Mayorga Tania Pineda</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Factores que influyen en los estudiantes y que contribuyeron a determinar los resultados de la PAES 2011 Colección de Investigaciones No. 12 Saúl Campos Blanca Ruth Orantes</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Responsabilidad legal en el manejo y disposición de desechos sólidos en hospitales de El Salvador Colección de Investigaciones No. 13 Carolina Lucero Morán</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Obrajes de añil coloniales de los departamentos de San Vicente y La Paz, El Salvador Colección de Investigaciones No. 14 José Heriberto Erquicia Cruz</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>San Benito de Palermo: elementos afrodescendientes en la religiosidad popular en El Salvador. Colección de Investigaciones No. 16 José Heriberto Erquicia Cruz y Martha Marielba Herrera Reina</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Formación ciudadana en jóvenes y su impacto en el proceso democrático de El Salvador Colección de Investigaciones No. 17 Saúl Campos</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Turismo como estrategia de desarrollo local. Caso San Esteban Catarina. Colección de Investigaciones No. 18 Carolina Elizabeth Cerna, Larissa Guadalupe Martín y José Manuel Bonilla Alvarado</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Conformación de clúster de turismo como prueba piloto en el municipio de Nahuizalco. Colección de Investigaciones No. 19 Blanca Ruth Galvez García, Rosa Patricia Vásquez de Alfaro, Juan Carlos Cerna Aguiñada y Oscar Armando Melgar.</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Mujer y remesas: administración de las remesas. Colección de Investigaciones No. 15 Elsa Ramos</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |

| | |
|---|---------------------------------------|
| <p>Estrategias pedagógicas implementadas para estudiantes de educación media Colección de Investigaciones No. 21 Ana Sandra Aguilar de Mendoza</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Participación política y ciudadana de la mujer en El Salvador Colección de Investigaciones No. 20 Saúl Campos Morán</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Estrategia de implantación de clúster de turismo en Nahuizalco (Propuesta de recorrido de las cuatro riquezas del municipio, como eje de desarrollo de la actividad turística) Colección de Investigaciones No. 22 Blanca Ruth Gálvez Rivas Rosa Patricia Vásquez de Alfaro Óscar Armando Melgar Nájera</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Fomento del emprendedurismo a través de la capacitación y asesoría empresarial como apoyo al fortalecimiento del sector de la Mipyme del municipio de Nahuizalco en el departamento de Sonsonate. Diagnóstico de gestión. Colección de Investigaciones No. 23 Vilma Elena Flores de Ávila</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Proyecto migraciones nahua-pipiles del postclásico en la Cordillera del Bálsamo Colección de Investigaciones No. 24 Marlon V. Escamilla William R. Fowler</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Transnacionalización de la sociedad salvadoreña, producto de las migraciones Colección de Investigaciones No. 25 Elsa Ramos</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Imaginario y discursos de la herencia afrodescendiente en San Alejo, La Unión, El Salvador Colección de Investigaciones No. 26 José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina Wolfgang Effenberger López</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |
| <p>Metodología para la recuperación de espacios públicos Colección de Investigaciones No. 27 Ana Cristina Vidal Vidales Julio César Martínez Rivera</p> | <p>Vicerrectoría de Investigación</p> |

CURRICULUM VITAE



José Remberto Miranda Mejía, es Ingeniero Industrial. Actualmente trabaja como investigador a tiempo completo y docente auxiliar en la Universidad Tecnológica de El Salvador. Posee experiencia en desarrollo de proyectos de ingeniería, gerencia de pequeñas empresas y asesoría en materiales para el área de metal mecánica.

Investigaciones realizadas a la fecha: “Mejores prácticas en preparación de alimentos en la micro y pequeña empresa” ISBN 978-99961-48-20-0 y “Análisis de tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final”

Correo electrónico: jose.miranda@utec.edu.sv



Samuel Martínez Gómez, es Ingeniero Industrial con estudios de Postgrado en Ingeniería de la decisión en URJC, Madrid, España, Actualmente trabaja como Docente hora clase e investigador en la Universidad Tecnológica de El Salvador, y docente hora clase en la Universidad José Matías Delgado. Posee experiencia en Logística, Sistemas de abastecimientos y suministros, costeo de productos, estándares de medición, desarrollo de proyectos de ingeniería, distribuciones de plantas y puestos de trabajo dentro de los procesos productivos capacidades instaladas de planta, planificación, programación y control de la producción, sistemas de incentivos, control de inventarios, control de la calidad e Ingeniería Humana (Ergonomía).

Investigaciones realizadas a la fecha: “Análisis de tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final”

Correo electrónico: samuelmg050@hotmail.com



John Figerald Kenedy Hernández Miranda; es Ingeniero Industrial y labora en el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, en el departamento de seguridad y salud ocupacional desde el año 1984 a la fecha. Realiza apoyo a comités de seguridad y salud ocupaciones hoy con la nueva normativa de la Ley General de Riesgo en apoyo a la elaboración a la norma técnica salvadoreña, en el Organismo Salvadoreño Normalizador.

Apoyo en la Investigación “Análisis de tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final”

Correo electrónico: kenedy.hernandez@mtps.gob.sv

La investigación consiste en analizar los tratamientos actuales a los desechos que generan las lámparas fluorescentes. La buena disposición de estos desechos comprende la recolección, el manejo, el tratamiento y la disposición final de los elementos que componen las lámparas fluorescentes; la disposición adecuada de estos desechos disminuiría la cantidad de mercurio (Hg) emitido al medio ambiente. El mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es la forma de mayor preocupación; casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio. Se realizó un estudio empírico con metodología cuantitativa. También como parte del estudio descriptivo mediante un código arbitrario de observación tipo estructurada. La investigación se lleva a cabo en el contexto habitual en el que se produce el fenómeno, pero el investigador introduce modificaciones para maximizar la probabilidad de aparición de dicho fenómeno. Se evaluaron 32 edificios que contienen grandes cantidades de luminarias, comprendidos en cinco departamentos de El Salvador.

Vicerrectoría de Investigación

Edificio Dr. José Adolfo Araujo Romagoza,
Calle Arce y 19.^a Avenida Sur No. 1045, 2.º nivel
San Salvador, El Salvador, C. A.
Tel.: 2275-1011
vicerectoriadeinvestigacion@utec.edu.sv

ISBN 978-99961-48-48-4

