

MÉTODO PARA MEDIR EL MERCURIO EN EL AIRE AMBIENTE EN LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Uno de los objetivos del Proyecto PNUD-FMAM sobre residuos generados por la atención de la salud es proteger la salud pública y el medio ambiente global de los impactos de las emisiones de mercurio mediante la demostración y promoción de una gestión adecuada de los residuos de mercurio y el uso de alternativas libres de mercurio.

El propósito del presente relevamiento es recabar datos con el fin de: (1) evaluar las posibles exposiciones al mercurio de los trabajadores de la salud y los pacientes en diferentes partes de los establecimientos de salud; (2) identificar las áreas en las que los niveles de mercurio en el aire ambiente sean superiores a los niveles de base en los establecimientos de salud que utilizan dispositivos de mercurio; y (3) evaluar los niveles residuales de mercurio en el aire ambiente en los establecimientos que han eliminado los dispositivos de mercurio.

Los datos compilados en los diversos países del proyecto podrán ser utilizados para crear conciencia en los profesionales de la salud, priorizar los servicios o departamentos de un establecimiento de salud al desarrollar un plan de eliminación gradual de dispositivos de mercurio, e identificar los servicios o departamentos que podrían requerir un monitoreo después de dicha eliminación gradual.

ANTECEDENTES

El Comité Científico sobre los Límites de Exposición Profesional para el mercurio elemental y los compuestos inorgánicos divalentes del mercurio (SCOEL/SUM/84, Comisión Europea, mayo de 2007) recomienda un límite de exposición profesional de 0,02 mg de vapor de mercurio por m³ en aire. El valor umbral límite (nivel de exposición diaria por encima del cual se cree que un trabajador podría sufrir efectos adversos en la salud) asignado por la Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales es de 0,025 mg por m³ como promedio en una jornada laboral normal de 8 horas y una semana laboral de 40 horas; el Instituto para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos tiene un límite de exposición recomendado (REL) para el vapor de mercurio de 0,05 mg por m³ como promedio ponderado en el tiempo (TWA) para una jornada laboral de hasta 10 horas y una semana laboral de hasta 40 horas; el límite de exposición permisible (PEL) para el vapor de mercurio es un valor máximo de 0,1 mg por m³ en aire según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA). A los fines del presente relevamiento, *las concentraciones de vapor de mercurio en el aire ambiente serán comparadas con el límite de 0,02 mg por m³ (20 µg por m³).*

Diversos aspectos influyen sobre los niveles de mercurio en el aire ambiente en un establecimiento de salud que utiliza dispositivos de mercurio o sustancias que contienen mercurio. Los factores fundamentales son:

- La fuente de mercurio (es decir, la cantidad de mercurio derramado y/ o la cantidad de mercurio utilizado durante procedimientos tales como la mezcla de amalgama dental, así como la frecuencia de los derrames y/o procedimientos de mercurio);
- La velocidad de volatilización, que depende de la temperatura ambiente, velocidad de las corrientes de aire, y las áreas superficiales y la cantidad de gotas de mercurio (téngase en cuenta que el área superficial y la cantidad de partículas de mercurio están relacionadas con los tipos de superficie sobre las cuales se derramó o se utilizó el mercurio; por ejemplo, las alfombras y los pisos de madera permiten que las gotas de mercurio queden atrapadas en las fibras o en las grietas);
- La velocidad a la cual se elimina o diluye el mercurio (que se relaciona con factores tales como el tamaño de la habitación, el tipo de ventilación, la cantidad de intercambios de aire por hora en la habitación, etc.);
- El hecho de que el establecimiento haya o no haya realizado procedimientos efectivos de limpieza después del derrame o uso de mercurio; y
- Cuánto tiempo pasó desde el último derrame de mercurio o procedimiento de mercurio.

Ya que es difícil tener en cuenta todos estos factores, *el relevamiento se concentrará en los siguientes factores generales: Los tipos de dispositivos de mercurio, las sustancias que contienen mercurio, o los procedimientos de mercurio utilizados en la habitación; el tipo de ventilación; y la última vez que se derramó o se utilizó mercurio en la habitación.*

Como las luces fluorescentes y las lámparas fluorescentes compactas son de uso común en todos los establecimientos de salud, no serán consideradas fuentes de mercurio en este relevamiento. Sin embargo, se tomarán mediciones en las áreas de almacenamiento donde se guardan lámparas fluorescentes viejas o rotas.

METODOLOGÍA

1.0 Equipo

En el estudio se utiliza el analizador de vapor de mercurio Jerome® J405 (Arizona Instruments LLC, Chandler, Arizona, Estados Unidos). Jerome® J405 es un analizador de aire ambiente con un rango de 0,5 a 999 microgramos de vapor de mercurio por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ Hg). Utiliza la tecnología del sensor con película de oro en la que los cambios en la resistencia eléctrica de una película fina de oro, en presencia de vapor de mercurio, se correlacionan con la masa de vapor de mercurio en la muestra.

El analizador J405 puede ser utilizado 12 horas con la batería interna, o funcionar con el cable de CD de 120 a 240 volts. El analizador J405 fue calibrado el 21 de enero de 2011, trazable al NIST, y se determinó que tiene una exactitud de 5% (a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Hg) y una desviación estándar relativa de 0,78%. Las especificaciones se indican en el Apéndice A.

Nota: El analizador deberá ser devuelto al Equipo Internacional del Proyecto para ser recalibrado antes del 20 de enero del 2012.

2.0 Preparación

- a) Obtenga las alturas promedio nacionales de hombres y mujeres adultos y calcule el valor promedio. Reste 15 cm para lograr una altura promedio aproximada de la nariz desde el suelo. Esto representa la zona de respiración. La siguiente tabla proporciona algunos valores expresados en centímetros.¹

PAÍS	Altura promedio hombre	Altura promedio mujer	Altura promedio nariz
Argentina	174,46	161,03	153 cm
India	165,3	165,3	150 cm
Filipinas	163,5	151,8	143 cm
Vietnam	167	156	146 cm

- b) Determine la altura promedio de la nariz desde el suelo en relación con la altura del investigador. Cuando tome muestras, el investigador debe sostener el instrumento J405 de modo que el puerto de entrada esté siempre a aproximadamente la altura promedio de la nariz desde el suelo.
- c) Arme una lista de departamentos o sitios objetivo como centros para verificar. Desarrolle una ruta eficiente para poder tomar medidas en el

sitio objetivo en poco tiempo. Si fuera posible y correspondiera, incluya los siguientes sitios objetivo en su lista:

- Sitio para obtener los niveles de base: Un área fuera del establecimiento de salud, lejos de cualquier posible fuente de mercurio, como por ejemplo, un jardín fuera del edificio, un área residencial en el vecindario circundante, o al menos a 10 metros de la entrada del establecimiento
 - Departamento de odontología, especialmente donde se mezcla la amalgama
 - Pabellón de pediatría
 - Pabellones de hombres y mujeres
 - Enfermería
 - Laboratorio biomédico
 - Departamento de emergencia
 - Departamento de pacientes ambulatorios
 - Departamento de ingeniería y mantenimiento donde se reparan o calibran los esfigmomanómetros
 - Área de almacenamiento de residuos generados por la atención de la salud
 - Áreas de almacenamiento para dispositivos de mercurio y lámparas fluorescentes
 - Área alrededor de un incinerador de residuos generados por la atención de la salud en funcionamiento
 - Farmacia
 - Área de almacenamiento de soluciones de limpieza y desinfectantes
- d) Haga fotocopias de la hoja de datos del Apéndice B.
- e) Regenere el sensor con película de oro del analizador Jerome® J405 siguiendo las instrucciones del fabricante al final de cada día de toma de muestras. La regeneración lleva alrededor de 45 minutos.
- f) Regenere el sensor de oro del analizador Jerome® J405 de acuerdo con las instrucciones del fabricante, el primer día, antes de tomar muestras, y al final de cada día de toma de pruebas. La regeneración lleva alrededor de 45 minutos.

2.0 Procedimiento a seguir el día de la toma de muestras

- a) Encienda el equipo y siga los pasos iniciales para verificar el funcionamiento correcto del instrumento según las instrucciones del fabricante.
- b) Deje calentar el equipo cinco minutos con el Filtro de Aire Cero insertado en la boca de toma (vea instrucciones del fabricante) para equilibrar el instrumento antes de tomar las muestras o cuando el equipo se apague automáticamente después de 20 minutos sin uso.
- c) Tome y registre tres muestras de base (las tres muestras pueden ser del mismo lugar o de tres lugares diferentes fuera del establecimiento de salud).

- d) En cada sitio objetivo, complete la información en la hoja de datos adjunta.
- e) Seleccione tres puntos de toma de muestra para tomar medidas en el sitio objetivo. Si el personal puede identificar las áreas de derrames recientes o en las que se utiliza normalmente mercurio, seleccione estos puntos para la toma de muestras. Si no se conocen las zonas de derrames recientes, seleccione lo siguiente: (1) el centro aproximado de la habitación o pabellón, (2) un área de trabajo alejada de ventanas u orificios de calefacción/ aire acondicionado, y (3) un área de trabajo cercana a las ventanas u orificios. Si el área objetivo no tiene ventanas ni orificios de ventilación, seleccione el centro aproximado del área y dos áreas de trabajo en lados opuestos del centro. Si el área objetivo es un espacio abierto, seleccione el punto de muestreo más cercano a donde se podría encontrar mercurio y otros dos puntos cercanos en el sitio.
- f) Después de seleccionar los tres puntos, tome una medición en cada uno de los tres puntos seleccionados a la altura promedio de la nariz sobre el nivel del suelo y registre los tres resultados. Registre las lecturas en la hoja de datos.
- g) Regenera el sensor al final del día de toma de muestras.

3.0 Compilación de datos

- a) Compile todos los datos en las hojas de datos y preséntelos en forma de tabla en una planilla Excel.
- b) Entregue los datos al Equipo Internacional del Proyecto.

4.0 Mantenimiento del equipo

- a) Siga las instrucciones del fabricante sobre mantenimiento preventivo, incluso sobre el cambio del pequeño filtro de toma (“filtro de sinterizado”) después de usarlo durante una semana, reemplazo del filtro AG después de alrededor de 500 muestras o seis meses (lo que ocurra primero), y cambio de los tubos y filtros internos cuando sea necesario.

Jorge Emmanuel, PhD
Asesor Técnico Principal
Proyecto PNUD/FMAM
Actualizado en agosto de 2014
Con la colaboración de E. Warren

APÉNDICE A
Especificaciones de Jerome® J405

Rango*	0,5 µg/m ³ a 999 µg/m ³ (0,0005 a 0,999 mg/m ³)
Resolución	0,01 µg/m ³ Hg
Tiempo de respuesta-modo muestra	12 segundos
Tiempo de respuesta-modo relevamiento	2 segundos
Caudal	750 ± 50 cc/min (0,75 ± 0,05 litros/min)
Requerimientos de energía eléctrica	12 V CC para el instrumento (provistos por las baterías internas, fuente/cargador de CD, conjunto de baterías externas o adaptador para el automóvil) 100-240V CD, 47-63Hz, 3,2A para la fuente/ cargador CD
Fusible	Fusible auto-reseteable
Conjunto de baterías internas	Níquel metal hidruro (NiMH) recargables
Ambiente de funcionamiento	0°C a 45°C, sin condensación, sin explosión
Material de carcasa	Aluminio, acabado con pintura en polvo
Dimensiones	11" L x 6" A x 6.5" H (28 cm L x 16 cm A x 17 cm H)
Peso	5,3 libras (2,4 kilogramos)
Visor del medidor digital	Visor de cristal líquido (LCD) de 3½" (9 cm)
Capacidad de almacenamiento de datos	20.000 muestras
Salida	Digital: Puerto serial de datos USB a PC, impresora o memoria flash USB Analógica: Bucle de corriente 4-20mA (requiere fuente de energía externa) Exactitud hasta 0,3% de salida
Certificaciones	TUV 61010, CE

Exactitud y precisión

Calibración	Exactitud**	Precisión (RSD)
1,0 µg/m ³ □	10%	15%
25 µg/m ³ □	5%	3%
100+ µg/m ³ □	5%	3%

*El analizador J405 registra y muestra los valores de muestras por debajo de 0,5 µg/m³ como 0,00 µg/m³. Los valores superiores a 999 µg/m³ se registran, pero el visor indica "alta concentración".

** Después de cambiar el filtro AG, la exactitud a 1,0 µg/m³ puede cambiar de ±10% a ±20%, y la exactitud a 25 µg/m³ y 100 µg/m³ puede cambiar de ±5% a ±7%. La desviación estándar relativa (RSD) no cambia.



APÉNDICE B
Hoja de datos

Nombre del investigador _____ Fecha _____

Nombre del establecimiento de salud _____

Lugar _____

Cantidad de camas _____ Ocupación promedio _____

Cantidad de pacientes ambulatorios por día _____

Tipo de establecimiento (hospital, clínica, sala de primeros auxilios, etc.) _____

Clasificación: Establecimiento urbano Establecimiento rural

Nivel del establecimiento (por ej., atención primaria, atención terciaria, etc.) _____

Descripción de los servicios provistos (por ej., pediatría, maternidad, etc.) _____

Comentarios _____

Niveles de mercurio de base:

_____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Descripción del lugar _____

_____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Descripción del lugar _____

_____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Descripción del lugar _____

Descripción del sitio específico _____

¿Se utilizaron dispositivos de mercurio en el sitio específico? SÍ NO

Si la respuesta es SÍ, ¿qué dispositivos de mercurio se utilizaron? (marque todos los que correspondan):

Termómetros Esfigmomanómetros Otros (describalos) _____

Si la respuesta es SÍ, ¿cuándo fue la última vez que se utilizaron dispositivos de mercurio en el sitio?
_____ meses

¿Se realizaron procedimientos para los que se utilizó mercurio en el sitio específico? SÍ NO

Si la respuesta es SÍ, describalo _____

Si la respuesta es SÍ, ¿cuándo fue la última vez que se realizaron procedimientos con mercurio en el sitio?
_____ meses

Tipo de ventilación (marque sólo uno):

- Ventilación natural sin ventanas o con ventanas normalmente cerradas
- Ventilación natural con ventanas normalmente abiertas
- Sistema de aire acondicionado/calefacción central
- Aire acondicionado independiente por sala o aire acondicionado de ventana pequeño
- Extracción de aire local, ventilador de extracción de aire mecánico, ventilador de techo, ventilador de mesa, o ventilador de piso
- Otro (describalo) _____

Niveles de mercurio en aire ambiente:

(1) _____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Descripción del lugar _____

(2) _____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Descripción del lugar _____

(3) _____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Descripción del lugar _____

xxxxx

APÉNDICE C

Breve relevamiento de los documentos¹

ESTABLECIMIENTOS ODONTOLÓGICOS

La mayoría de los estudios relevantes de esta reseña de documentos está relacionada con los niveles de mercurio de los establecimientos odontológicos.

Stonehouse y Newman (2011) investigaron la emisión de vapor de mercurio de un aspirador dental, que aliviaba el aire residual a través de la base directamente en el espacio donde se realizaba la cirugía. Se midieron las concentraciones de vapor de mercurio en el aire de la zona de respiración del dentista durante el funcionamiento continuo del aspirador. En la zona de respiración del dentista, se registraron concentraciones de vapor de mercurio diez veces mayores que el límite de exposición ocupacional de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, después de 20 minutos de funcionamiento constante del aspirador.

Tezal *et al.* (2001) llevaron a cabo un estudio para determinar los niveles de mercurio en sangre de los estudiantes de odontología y el personal de enseñanza clínica de la Universidad del Egeo, una escuela de odontología de Turquía que usa amalgama como material de restauración. Se registraron aumentos de gran importancia estadística en las concentraciones de mercurio en plasma en las mediciones de todos los grupos al final del año académico. Los niveles aumentados de mercurio se debieron a la exposición residual de los derrames de mercurio y los residuos de amalgama en el suelo.

Un estudio realizado en 2003 por Ihejiawu *et al.* en una clínica odontológica de los Estados Unidos activa durante diez días, en un período de cuatro semanas, reveló concentraciones de mercurio elemental en la zona de respiración, desde cantidades no detectables hasta concentraciones de 0,0035 mg/m^3 . La concentración de mercurio más alta detectada fue de 0,199 mg/m^3 en el contenedor de amalgama. La concentración de mercurio más alta adquirida en la zona de respiración de un empleado de la clínica fue de 0,017 mg/m^3 en la zona de respiración de un asistente odontológico durante un proceso de restauración dental. La categoría de trabajo del asistente odontológico se identifica como “el peor caso” respecto de la exposición al mercurio elemental, debido al aumento potencial del vapor de mercurio durante el proceso de preparación de amalgama.

Se realizó un estudio de 180 dentistas en el oeste de Escocia para determinar su exposición al mercurio durante el curso de su trabajo y los efectos en su salud y su función cognitiva (Richie *et al.* 2004). Se descubrió que los dentistas presentaban, en promedio, niveles de mercurio en orina cuatro veces más altos que los participantes del grupo de control. Ciento veintidós (67,8 %) de los 180 quirófanos visitados presentaron, en una o más áreas, mediciones de mercurio elemental por sobre el estándar de exposición ocupacional (OES) de UK Health and Safety Executive, de 25 μg por metro cúbico para 8 horas al día, 40 horas a la semana. En la mayoría de estos quirófanos, los niveles más altos de mercurio se encontraron alrededor de la base de las sillas odontológicas y en los zócalos. En 45 quirófanos (25 %), la zona de respiración del personal de odontología superó el OES.

En el laboratorio de simulación dental (DSL) y en la clínica odontológica (DC) de la escuela de odontología, Universidad de Puerto Rico, se midieron las concentraciones de mercurio en el vapor y en partículas en suspensión (PM10). Los niveles de vapor de mercurio variaban entre 1,1 y 3,3 mg/m^3 en el DSL y entre 13,6 y 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la DC. Los niveles de mercurio ligados a las PM10 eran reducidos; no

¹ Compilado por Emily Warren

obstante, el vapor de mercurio era mucho más alto que los niveles sugeridos por la OSHA para los DSL (límite de exposición permitido de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Khawaja *et al.*, del Sustainable Development Policy Institute de Pakistán, presentaron una excelente reseña de los niveles de mercurio en el aire interior de 42 sitios odontológicos en 17 países, incluidos sus propios estudios en sitios odontológicos en cinco ciudades principales de Pakistán. En la mayoría de los casos, los niveles de vapor de mercurio en el interior excedían los límites permitidos recomendados.

HOSPITALES

La reseña de los documentos solo encontró tres estudios relacionados con los niveles de mercurio en hospitales. El más antiguo se llevó a cabo en 1979 (Choi-Lao *et al.*, 1979) para estudiar el mercurio en suspensión en dos hospitales de Ottawa, Canadá. Si bien las concentraciones de vapor de mercurio se encontraban por debajo del valor umbral de exposición (TLV), todas las muestras analizadas mostraron cantidades mensurables de mercurio. Las fuentes principales de contaminación de mercurio eran termómetros y esfigmomanómetros rotos.

Prokopowicz y Mniszek (2005) llevaron a cabo un estudio para medir el vapor de mercurio en siete hospitales locales de Polonia, además de una residencia. Los resultados indicaron la presencia de fuentes de vaporización de mercurio en las habitaciones del hospital evaluadas, pero, en la mayoría de los casos, los niveles de mercurio no superaban el 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (es decir, la concentración permitida en Polonia para residencias). Sin embargo, en algunas de las habitaciones de los hospitales, se detectaron concentraciones elevadas de vapor de mercurio y se registraron niveles en suspensión de hasta 13,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones de vapor de mercurio eran más altas en otoño que en verano.

En un estudio más reciente realizado por Toxics Link (2007) en la India, se descubrió que, todos los meses, se rompen casi 70 termómetros en hospitales con 300 a 500 camas. El estudio se llevó a cabo en dos hospitales de Delhi. Todas las ubicaciones donde se realizaron las pruebas presentaron vapor de mercurio en niveles variados (entre 1,09 y 3,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El ala de odontología de los hospitales también presentó un nivel muy alto de mercurio (3,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, los niveles fueron elevados en las salas de maternidad y las salas generales, lo que representa un riesgo grave para recién nacidos y pacientes.

REFERENCIAS

Adriana, G., Gilberto Hanke, Augusto Elias-Boneta and Braulio Jiménez-Velez. A pilot study to determine mercury exposure through vapor and bound to PM10 in a dental school environment. *Toxicology & Industrial Health*, 2007, 23(2), 103-113.

Choi-Lao, Agnes T. H., George Corte, Gerald Dowd, Robert C. Lao. Mercury vapor as a contaminant of hospital environment. *The Science of The Total Environment*, abril de 1979, 11(3), 287-292.

Ihejiawu, J. C., Dale J. Stephenson, Michele Johnson, Jeff Throckmorton, George L. White Jr., Dean R. Lillquist. Evaluation of mercury vapor exposure while preparing dental fillings with pre-encapsulated amalgams. National Occupational Research Agenda Proceedings, 2003. Salt Lake City, Utah.

Khawaja, Mahmood Ahmad, M.S. Abbasi, F. Mehmood y S. Jahangir. Study of high levels indoor air mercury contamination from mercury amalgam use in dentistry. *Science Technology and Development*, 2014, 33(2), 94-106.

Pastore, P., Ratna Singh y Dr. Nidhi Jain. Mercury in Hospital Indoor Air: Staff and Patients at Risk, Toxics Link, Nueva Delhi, India, enero de 2007.

Prokopowicz, Adam y Mniszek, Wojciech. Mercury vapor determination in hospitals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 104: 147-154.

Ritchie, K. A., F. J. T. Burke, W. H. Gilmour, E. B. Macdonald, I. M. Dale, R. M. Hamilton, D. A. McGowan, V. Binnie, D. Collington and R. Hammersley. Mercury vapour levels in dental practices and body mercury levels of dentists and controls. *British Dental Journal*, 27 de noviembre de 2004, 197(10), 625-632.

Stonehouse, C. A. y A. P. Newman. Mercury vapour release from a dental Aspirator. *British Dental Journal*, May 26 2001, 190(10), 558-560.

Tezel, H., O. S. Ertas, F. Ozata, C. Erakin y A. Kayali. Blood mercury levels of dental students and dentists at a dental school. *British Dental Journal*, octubre de 2001, 191(8), 449-452.