



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

EFFECTOS TÓXICOS DEL MERCURIO
(REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA).

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

IVON LÓPEZ ZAVALA

TUTOR: Esp. JAIME ALBERTO GONZÁLEZ OREA

MÉXICO, D.F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dios le agradezco el Destino que ha elegido para mí, ha cuidado de cada detalle y las pruebas que creí difíciles, me han hecho ser lo que soy HOY.

A mis Padres que sin elegirme, me aceptaron en su Vida, enseñándome con su ejemplo, que día a día se puede ser Mejor. Servando y Delia, me han dado más de lo que la Felicidad que por mis logros puede demostrar el Amor y Gratitud por Ustedes.

A mis hermanos, Alberto por ser mi ejemplo de Inteligencia y Perseverancia, y a Ulises por la Pasión y Coraje que tiene por la Vida.

Al eje de nuestra Familia, ese ser tan Hermoso y Valiente, que con sus años de sabiduría nos llena de Grandes Bendiciones, mi admiración y cariño Martitha.

Al Apoyo y Guía incondicional tía Esther, y con anécdotas y consejos a Claudia, que has formado el complemento de mi hermano y nos llenan de Alegría con Emiliano y Renata.

A la tan Excepcional Amistad que me ha sido brindado a lo largo de la Vida, siendo cómplices de mis Mejores Momentos.. Mis Amigos y a la confianza que ellos en mí tuvieron, para continuar con mi Aprendizaje.

Porque sé que los Tiempos de Dios son perfectos, a ellos les recuerdo a tan Maravillosas Personas que pude conocer y compartí inmemorables momentos; ELLOS cuidan de mí.

He aprendido que no todos los finales son tristes, que mejor Camino recorrido, a ti mi UNAM ¡Gracias!

Al Dr. Jaime, que el primer día me dijo las tres cosas que debemos hacer en la Vida y que a pesar de las dificultades, me ayudó a escribir mi Libro.

A la Dra. Teresa que demostró que con Alegría y Simpatía, el aprendizaje correcto, llevará siempre al Éxito.

Al Dr. Jorge, que con su paciencia, nos encaminó en el conocimiento.

¡Éxito en su Camino Mitzú y David!



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
CAPÍTULO 1	
“ANTECEDENTES.”	
1. Historia.....	5
CAPÍTULO 2	
“BIOGRAFÍA DEL MERCURIO.”	
2. Mercurio.....	7
2.1. Propiedades químicas.....	8
2.2. Cinética del mercurio.....	9
2.3. Distribución.....	11
2.4. Eliminación.....	12
2.5. Mecanismos de acción.....	12
2.6. Fuentes naturales.....	13
2.7. Fuentes antropogénicas.....	14
2.8. Fuentes de exposición laboral de mercurio.....	16
2.8.1. “Exposición ocupacional y efectos a la salud del mercurio metálico entre odontólogos y asistentes dentales: un estudio preliminar.”.....	18
2.9. Fuentes contaminantes.....	21
2.9.1. “Los efectos del mercurio sobre la salud humana y el medio ambiente y una consideración especial a la vulnerabilidad en la fase temprana.”.....	22
2.9.2. “Ciencia y estrategias para reducir los riesgos del mercurio: una revisión crítica.”.....	24
2.10. Normatividad relaciona con el manejo de mercurio.....	27



CAPÍTULO 3

“TOXICIDAD DEL MERCURIO.”

3. Toxicidad.....	28
3.1. Inmunotoxicidad.....	28
3.2. Toxicocinética.....	29
3.3. “Relevancia de los antecedentes genéticos individuales para la toxicocinética de sustancia tóxica del desarrollo neurológico significativo: mercurio.”.....	29
3.4. Toxicidad del mercurio.....	32
3.4.1. Cuadro clínico.....	34
3.5. “Tiempo de retención de mercurio inorgánico en el cerebro- Una revisión sistemática de la evidencia.”.....	35
3.6. Intoxicación sobreaguda.....	35
3.7. “Mercurio y amalgamas dentales: una evidencia epidemiológica.”.....	36

CAPÍTULO 4

“RESEÑA HISTÓRICA.”

4. Sucesos cronológicos.....	44
4.1. “Estado actual sobre la exposición alimentaria del mercurio durante el embarazo y la infancia, y recomendaciones en salud pública.”.....	45
4.2. “Síndrome de Alicia en el País de las Maravillas.”.....	46

CAPÍTULO 5

“MERCURIO EN ODONTOLOGÍA.”

5. Amalgama.....	47
5.1. Norma No. 1.....	47



5.2. “Salud y seguridad en la clínica dental, reglamentos de higiene para uso de mercurio elemental en la protección de los derechos, la seguridad y bienestar de los pacientes, los trabajadores y el medio ambiente.”	48
5.3. “Mercurio y salud en Odontología.”	52
5.4. Perspectiva histórica de la amalgama	55
5.5. Aleación de la amalgama	57
5.6. Composición de la aleación	57
5.7. Clasificación	58

CAPÍTULO 6

“MERCURIO EN LA AMALGAMA.”

6. Norma No. 6	59
6.1. Proporción mercurio-aleación	59
6.2. Dosificación	60
6.3. Efecto del contenido del mercurio	61
6.4. Mercurio y amalgama	61
6.5. “Relación entre los niveles de mercurio en la sangre y la orina, y las quejas de la toxicidad crónica de mercurio de las restauraciones de amalgama.”	64

CAPÍTULO 7

“RECOMENDACIONES.”

7. “La exposición al vapor de mercurio en el entrenamiento del estudiante de Odontología en la remoción de amalgama.”	67
7.1. Alimentarias	69
7.2. En el consultorio	69

CONCLUSIONES	71
--------------	----

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	72
--------------------------	----



INTRODUCCIÓN.

En Odontología, los metales representan una de las cuatro clases más importantes de materiales empleados para la reconstrucción de tejidos orales dañados.

The Metals Handbook (El Manual de los Metales – 1992), define un metal como <<una sustancia química opaca y brillante que es buena conductora del calor y la electricidad, y cuando está pulida refleja muy bien la luz>>. La mayoría de los metales provienen de minerales.

Una aleación es una sustancia con propiedades metálicas que consta de dos o más elementos químicos, siendo, al menos uno de ellos, un metal. Sin embargo, todos los metales y aleaciones empleados como materiales de restauración en odontología son sólidos cristalinos. También se pueden definir los metales según sus propiedades de calidad y cantidad, como su brillo, maleabilidad, ductilidad, conductividad eléctrica y/o térmica y gravedad específica.

Los metales son *maleables*, significa que se pueden martillar para formar laminas delgadas, y *dúctiles*, lo que significa que se pueden estirar para formar alambres; estas propiedades nos indican que sus átomos pueden deslizarse entre sí.⁴⁷

Los metales nobles (oro, iridio, osmio, paladio, platino, rodio y rutenio) son muy resistentes a la corrosión y oxidación y no necesitan elementos de



aleación para estos fines. Sin embargo, cuando se emplean metales nobles puros para restauraciones dentales, estos deben alearse para proporcionar la suficiente resistencia frente a la deformación y fractura.⁴⁰



CAPTITULO 1

“ANTECEDENTES.”

1. Historia

El mercurio ha sido relacionado con los dioses (el dios mercurio), con los planetas y a él se le ha atribuido a través de la historia de la humanidad poderes mágicos y ha sido objeto de atributos misteriosos.

Desde la antigüedad se tiene conciencia de las propiedades del mercurio: los papiros egipcios (1600-1500 a.C.), ya lo mencionaban. En la época de Aristóteles se le usó en el tratamiento de las enfermedades de la piel y de la



sífilis; y en ceremonias religiosas. En la época de Paracelso comenzó a utilizarse como diurético, utilización que se mantuvo hasta la década de 1960-1970 uno de cuyos nombres comerciales aún perduran en nuestra memoria como “mercuhidrín” y cuyo efecto es, de hecho, una manifestación de sus efectos tóxicos.

El mercurio y el cinabrio (HgS, sulfuro de mercurio; color rojo y que se torna blanco al exponerse a la luz); se han conocido y utilizado desde la Antigüedad. Se sabe que el cinabrio (vermellón) se usaba como pigmento para decoración corporal y en

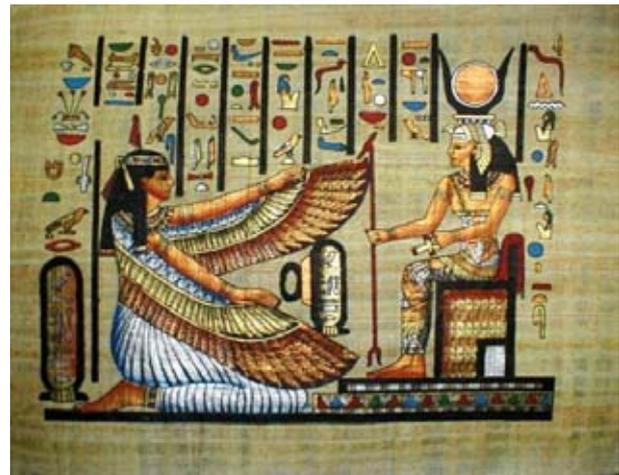
pinturas rupestres, como lo señala Plinio en Roma, en el primer siglo de nuestra era.⁵⁵

Teofrasto, 300 a.C. logra por primera vez la “**amalgama**” al triturar cinabrio con vinagre, en un mortero de latón, siendo esta la primera noticia que se tiene en el mundo de amalgamación propiedad de incalculable importancia en la aplicación industrial del mercurio.



Dioscórides lo denominó “hydro argiros” o sea “plata líquida” como descripción gráfica de su aspecto atractivo y hermoso, lo denominó igualmente “plata viva”. Los antiguos lo tenían como mensajero alado de los dioses y lo representaban con el símbolo de la vara heráldica o del caduceo, signo o símbolo del dios Mercurio, hoy utilizado como emblema de los profesionales del comercio.⁵

Los egipcios, griegos y romanos lo utilizaron con fines estéticos en cosméticos, en preparaciones médicas en amalgamas. En el siglo XIII se prescribían tratamientos a base de derivados de mercurio para curar enfermedades dérmicas crónicas, lo que denota una clara influencia árabe.⁵⁵



El consumo de mercurio se incrementó por el desarrollo del proceso metalúrgico llamado *patio* en el siglo XVI para la recuperación de la plata por amalgamación. Cabe destacar que las aplicaciones científicas del mercurio, como el barómetro inventado por Torricelli en 1643 y el termómetro de mercurio inventado por Fahrenheit en 1720, sirvieron para aumentar su demanda.⁵⁵

Después de 1900, particularmente en la industria eléctrica, en donde la invención de la pila de mercurio en 1944 causó inmediatamente un profundo y continuo aumento en el consumo del mercurio. Durante la primera mitad del siglo XX los usos terapéuticos primarios del mercurio incluían preparaciones bactericidas, tales como cloruro de mercurio, oxicianuro de mercurio y óxido de mercurio; diuréticos como el novasural y derivados de alílicos mercuriales.

55



CAPÍTULO 2

“BIOGRAFÍA DEL MERCURIO.”

2. Mercurio.

El mercurio, del latín Mercurius, el dios y el planeta, es el único metal en estado líquido. Se obtiene como tal en minas o mezclado, siendo lo más común como Cinnabar (a HgS) y menos como metacinnabarita (b HgS₉) o livingstonita (HgS . 2Sb₂S₃).

Es un metal pesado y blanco; su símbolo (Hg) y un peso atómico de 80. Es líquido a temperatura ordinaria, tiene un punto de solidificación de -39°C, y un punto de ebullición de 357°C.³⁵



Durante siglos el mercurio fue componentes importantes de muchos diuréticos, antibacterianos, antisépticos, ungüentos cutáneos y laxantes; como Cloruro mercurioso o calomel. En decenios recientes, los mercuriales han sido sustituidos en gran medida por agentes de tratamiento más específicos, eficaces e inocuos por ello se han vuelto más raras las intoxicaciones farmacoinducidas por este elemento. En México el principal estado en su obtención es San Luis Potosí, se obtiene reduciendo sus menas.²⁰

Forma dos series de derivados: *mercuriosos*, actuando el metal como **monovalente**; y *mercúricos*, si actúa **divalente**.¹⁷

Existen 3 principales formas químicas del mercurio:

- Mercurio metálico o elemental* (Hg⁰): blanco, plateado brillante, líquido a temperatura ambiente, con propiedades físicas y químicas únicas.
- Mercurio inorgánico* o sales de mercurio (Hg+1, Hg+2)
- Mercurio orgánico*: en forma de metilmercurio, de etilmercurio o timerosal, siendo la forma más peligrosa para la salud humana.⁴⁸



Los vapores de mercurio pueden liberarse de las amalgamas de plata usadas en odontología. De hecho ha sido la fuente principal de exposición al mercurio en la población general, aunque la cantidad del vapor liberado parece intrascendente para la salud humana (Eley y Cox, 1993), excepto en unos cuantos individuos con el eccema alérgico por el contacto.

Las sales de mercurio existen en dos estados de oxidación, es decir, como sales mercurosas monovalentes, o como sales mercúricas divalentes. Las sales mercúricas son las más irritantes y constituyen la forma más aguda del metal.

En los organomercuriales de uso actual, el mercurio forma un enlace covalente con un átomo de carbono; comprenden un grupo heterogéneo de compuestos y sus miembros poseen diversas capacidades de generar efectos tóxicos. Las sales de alquilvercurio son, con mucho, las más peligrosas de estos compuestos, y el más común es el metilvercurio. Dichas sales se han utilizado ampliamente como fungicidas, y han producido efectos tóxicos en seres humanos.²⁰

2. 1. Propiedades químicas.

El mercurio forma fácilmente enlaces covalentes con el azufre, y esta propiedad es la que explica la mayor parte de las propiedades biológicas del metal. Cuando el azufre está en la forma de grupos sulfhidrilo, el mercurio divalente reemplaza al átomo de hidrógeno para formar mercapturos, $X-Hg-SR$ y $Hg (SR)_2$, donde X es un radical electronegativo y R una proteína. Los mercuriales orgánicos forman mercapturos del tipo $RHg-SR$. Incluso en bajas concentraciones, los mercuriales pueden inactivar las enzimas sulfhidrúlicas y así interferir en el metabolismo y funciones de las células. La afinidad del mercurio por los tioles constituye la base para tratar las intoxicaciones mercuriales con agentes como dimercaprol y penicilina. El mercurio también se combina con otros ligandos de importancia fisiológica, como fosforilo, carboxilo, amidas y grupos amino.²⁰



2. 2. Cinética del Mercurio.

a) **Mercurio elemental:** no es en particular tóxico si se ingiere, porque es poco lo que se absorbe de él en el tubo digestivo; ello se debe a la formación de gotitas y a que este elemento no reacciona con moléculas biológicamente importantes. Sin embargo, los vapores inhalados se absorben por completo en los pulmones, donde se oxidan hasta dar el catión mercúrico divalente, por reacción de la catalasa eritrocítica (Magos y col. 1978). En término de horas, el depósito de vapor de mercurio inhalado semeja el que ocurre después de ingerir las sales mercúricas, con una diferencia importante: dado que los vapores cruzan las membranas con mayor facilidad que el mercurio divalente, una cantidad importante de ellos penetra en el encéfalo antes de oxidarse. Por tanto, la toxicidad de SNC es más notable después de exposición a vapores mercúricos que a las formas divalentes del metal.²⁰ Cuando se aplica sobre la piel en vehículos adecuados, se puede absorber, especialmente cuando ocurre oxidación.⁵



En humanos con una velocidad respiratoria de 20 litros/minuto, los depósitos varían entre 10 y 50% dependiendo del diámetro de las partículas del aerosol de 5 a 0,01 micrones, respectivamente.⁵

b) **Sales inorgánicas:** las sales mercúricas inorgánicas solubles (Hg^{2+}) llegan a la circulación después de ser ingeridas. La absorción en tubo digestivo es de alrededor de 10 a 15% de la cantidad ingerida, y una porción notable de Hg^{2+} puede quedar unida a la mucosa de las vías digestivas y al contenido intestinal.²⁰

La absorción de los compuestos inorgánicos de mercurio por la vía gastrointestinal depende de la sal.



Para los compuestos mercuriosos que no son casi solubles en agua, se puede esperar una baja absorción; sin embargo, pueden ser parcialmente convertidos a iones mercúricos en el lumen gastrointestinal, forma en la cual se absorben en mayor proporción.

Los compuestos mercuriosos inorgánicos insolubles, como el calomel (Hg_2Cl_2), pueden ser oxidados en cierto grado hasta dar compuestos solubles que se absorben con mayor facilidad. El mercurio inorgánico tiene una distribución demasiado irregular después de absorbido.²⁰

La mayor concentración de Hg^{2+} se ubica en los riñones, órganos en los que el metal se retiene por más tiempo que en otros tejidos. Las concentraciones de mercurio inorgánico son semejantes en sangre entera y plasma; los mercuriales inorgánicos no cruzan fácilmente la barrera hematoencefálica ni la placenta. El metal se excreta por la orina y las heces, con una vida media de 60 días (Frigebrg y Vostal, 1972).²⁰

- c) Mercuriales orgánicos:** los compuestos de este tipo se absorben de manera más completa en tubo digestivo que las sales inorgánicas, porque son más liposolubles y menos corrosivos para la mucosa intestinal. Más de 90% del metilmercurio se absorbe en el tubo digestivo del ser humano. Los mercuriales orgánicos cruzan la barrera hematoencefálica y la placenta y, por consiguiente, producen más efectos neurológicos y teratógenos que las sales inorgánicas. Es similar a la de la metionina, y así el complejo es aceptado por el gran portador de aminoácidos neutros que está presente en las células del endotelio capilar. Los mercuriales orgánicos se distribuyen con mayor uniformidad en los diversos tejidos que las sales inorgánicas (Klaassen, 1975). Una fracción notable de la carga corporal de mercuriales orgánicos se localiza en los eritrocitos. La proporción de la concentración de organomercuriales en los eritrocitos en relación con la del plasma varía según el compuesto; en el caso del metilmercurio, es de 20:1 aproximadamente (Kershaw y col 1980). El mercurio se concentra en el cabello, por su alto contenido de sulfhidrilo.



El enlace carbono-mercurio de algunos mercuriales orgánicos se rompe después de la absorción; en el caso del metilmercurio, la rotura o desdoblamiento son muy lentos, y se piensa que el mercurio inorgánico formado no contribuye mayormente a la intoxicación por metilmercurio. Los alimercuriales, a semejanza del mercurófeno, por lo común contienen un enlace mercurio-carbono lábil, y la toxicidad de tales compuestos es semejante a la del mercurio inorgánico. En el ser humano el metilmercurio se excreta más bien en las heces, conjugado con glutatión; en la orina aparece menos de 10% de una dosis (Bakir, 1980). La vida media del metilmercurio en la sangre de seres humanos va de 40 a 105 días (Bakir y col., 1973).²⁰

Los mercuriales orgánicos ofrecen alto grado de peligro cuando son inhalados, ya que son altamente volátiles. Cuando su ingreso es por ingesta su absorción es superior al 90%; por piel se encuentra en la literatura informes de intoxicación por contacto con metilmercuriotiacetamida.⁵

2 . 3. Distribución.

Los efectos tóxicos de todas las formas de mercurio inorgánico se deben a la acción de los iones mercúricos, ya que el mercurio elemental no puede formar enlaces químicos. La oxidación del mercurio elemental ocurre de acuerdo con la ecuación siguiente: $2\text{Hg}^{\circ} \rightarrow \text{Hg}_2 \rightarrow \text{Hg}$

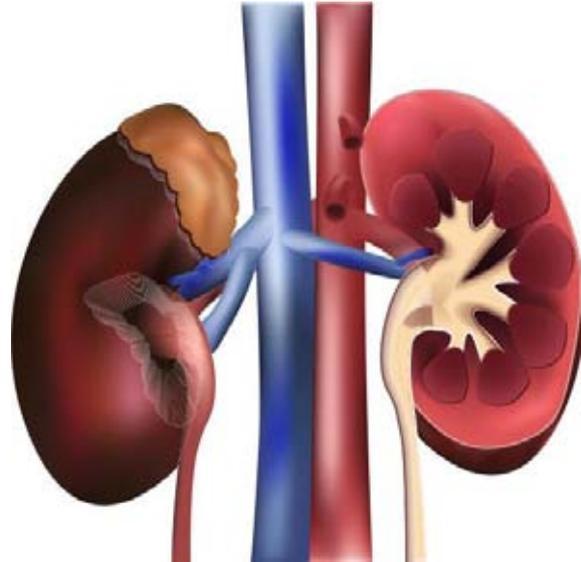
El ion mercurioso es inestable y se disocia a mercúrico.

Los aril y alquil mercuriales presentan grandes diferencias ya que los arilmercuriales se convierten rápidamente a iones mercúricos, mientras que los alquilmercuriales se distribuyen como tales.

De ahí que los problemas toxicológicos ocasionados por los arilmercuriales se semejan notablemente a los producidos por los iones de mercurio inorgánico, especialmente en relación con sus sitios de depósito y a su capacidad de llegar al SNC y al feto.

Los iones de mercurio inorgánico se distribuyen en los tejidos y en pocas horas se concentran especialmente en riñones, hígado, sangre, mucosa respiratoria, pared intestinal y colon; piel, glándulas salivares, corazón, músculo esquelético, cerebro y pulmón, en orden descendente. Después de una semana el 85 a 95% de todo el mercurio inorgánico del organismo se almacena en el riñón. ⁵

Los mercuriales orgánicos debido a sus dos propiedades toxicocinéticas como son su capacidad de atravesar membranas celulares y su gran resistencia a la biotransformación en los tejidos, se depositan principalmente a nivel de SNC. El radical intacto de metilmercurio persiste en el



organismo muchas semanas después de la exposición. Los síntomas tóxicos sobre el SNC producidos por los mercuriales de cadena corta no son producidos por los otros mercuriales. ⁵

2. 4. Eliminación.

El mercurio absorbido se elimina principalmente por la orina, aunque también se encuentran fracciones en las heces, debidas a secreción dentro del lumen gastrointestinal, especialmente a nivel del colon, por bilis, saliva y jugos gástricos e intestinales.

La eliminación empieza inmediatamente cuando se absorben y continúa a velocidades altas. El tejido renal retiene mercurio en gran tenacidad. El almacenamiento en dicho órgano y en menor grado la eliminación urinaria nos indica la severidad de la exposición. ⁵



Los alquilvercuriales de cadena corta, debido a su capacidad de atravesar membranas presentan recirculación enterohepática, especialmente el metilmercurio. Una porción de lo eliminado por bilis se encuentra unido a proteínas y la otra está formada por complejos mercuriales de bajo peso molecular. Se han notado que por el paso de la vesícula biliar se producen cambios en la distribución del metilmercurio; las sales mercuriales que llegan al intestino son liposolubles, por lo cual se pueden reabsorber creando ciclos enterohépticos. Por eso se dice que los alquilvercuriales son más tóxicos que las otras formas mercuriales, debido a que el organismo humano absorbe más y lo excreta en menor cantidad. ⁵

2. 5. Mecanismo de acción.

Los iones de mercurio son precipitantes de proteínas y causan necrosis severa en los puntos de contacto directo con los tejidos, fenómeno fácilmente evidenciable en los casos de intoxicación con sales inorgánicas de mercurio. Esto ocurre especialmente a nivel de la boca, esófago, piel o conjuntivas, córnea y células del tracto gastrointestinal en general y su ruta de excreción. El mercurio se combina primero con los grupos tiólicos (SH); el ión entra a la célula primero lentamente y luego más rápidamente. Se inhibe entonces la captación celular de glucosa durante la primera etapa y en la segunda, la respiración celular progresivamente; cuando se rompe la membrana celular se inhibe completamente la respiración.

Se observa también un decrecimiento del potencial eléctrico a través de la membrana y una pérdida de potasio celular. El mercurio produce hemólisis de los glóbulos rojos y porfiria. ⁵



2. 6. Fuentes Naturales.

El mercurio natural viene de la desgasificación de la corteza terrestre a través de los gases volcánicos que alcanzan niveles de 25, 000 y 125, 000 toneladas anuales, así como por la evaporación de los océanos. Existen grandes yacimientos de mercurio en zonas de actividad volcánica como son el Cinturón de Fuego, la Cordillera del Pacífico Oriental, el Arco Mediterráneo, el Himalaya y la Cordillera Mesoatlántica. ⁵⁵



La distribución continental de este metal es la siguiente: en Europa, en donde los principales países productores son Rusia, España, Italia, Yugoslavia y Turquía; en el continente americano los depósitos se localizan en Estados Unidos de América, México, Colombia, Chile y Perú, mientras que en Asia, se producen en China, Japón y Filipinas.

España (después de la antigua URSS) es el segundo productor y sus reservas son las más importantes del mundo. La producción de mercurio en los últimos años se sitúa alrededor de 1,600 toneladas anuales, de las que se exportan 1, 100 y se consumen 500 toneladas (en la industria química básica). De éstas últimas, el 80% se utiliza en la fabricación de sales orgánicas e inorgánicas de mercurio, que a su vez se exportan en gran parte para ser utilizadas en la industria electrónica, en la fabricación de lámparas de mercurio, etc. ⁵⁵



2 . 7. Fuentes antropogénicas.

a) *Industria Minera.*

Las fuentes antropogénicas generan mercurio en forma metálica o en sus diferentes compuestos en menor cantidad que las fuentes naturales. La producción mineral de mercurio de la minería y de la fundición, según una estimación en 1973, es de 10,000 toneladas por año, con una tasa de crecimiento anual del 2%. Los niveles locales en agua derivada de minerales de mercurio puede también ser alta (superior a los 80 mg/L). La



contaminación atmosférica por la producción industrial es menor que la contaminación del agua ocasionada por las actividades mineras.⁵⁵

El compuesto mercúrico obtenido por el proceso de minería es el **sulfuro mercúrico**; éste se refina

del sulfuro de mercurio calentando la mena a más de 500°C y condensando los vapores de mercurio metálico liberados y, la descarga de mercurio al ambiente es superior a las 2,000 toneladas al año.⁵

b) *Industria del cloro.*

La industria del cloro que basa su proceso en la electrólisis del cloruro de sodio y utiliza una celda de mercurio cuyo cátodo es un lecho de mercurio elemental y también constituye una fuente de mercurio al ambiente.

Una celda típica de mercurio de 30m² puede contener más de 6,000 kg de mercurio que circula en un sistema cerrado y se reutiliza indefinidamente. Sin embargo, debido a la producción de sosa cáustica o potasa se presentan pérdidas de 150-250 gramos de mercurio por kilogramo de cloro. Además, el hidróxido de sodio o de potasio generado mediante este proceso contiene de 4-5 ppm de mercurio.⁵⁵



c) Industria de la pulpa y el papel.

En la industria de la pulpa y el papel se utilizan ampliamente los compuestos orgánicos de mercurio, principalmente los **fenilmercúricos**, los cuales sirven como conservadores. Algunos estudios han señalado que del 5 al 20% del mercurio utilizado en este tipo de industria se descarga en ríos, lagos y lagunas.⁵⁵

d) Industria eléctrica y de pinturas.

Las industrias eléctrica y de pinturas son de las más grandes consumidoras de mercurio, llegando a contabilizar 55% del consumo total. Los compuestos organomercuriales como son los **oleatos**, **fenilmercuriales** y **dodecilsuccinatos** se utilizan como bactericidas y fungicidas en la industria de pinturas. El mercurio se puede liberar durante la manufactura de la pintura y también del uso de las pinturas que contienen mercurio o compuestos por medio de:

- Descargas a los ríos, lagos y lagunas.
- Volatilización del mercurio de las superficies pintadas.
- Liberación lenta de mercurio de las pinturas antihongos del fondo de las embarcaciones.
- Descarga del mercurio al drenaje procedentes del lavado de las brochas, rodillos, recipientes, etc.⁵⁵

La industria eléctrica utiliza mercurio en la fabricación de lámparas fluorescentes, rectificadores, osciladores, contactos de control de energía, tubos de cátodo caliente y algunos tubos utilizados en aplicaciones de alta frecuencia en los radares o radios.

Las pilas de mercurio se utilizan en muchos instrumentos, radios, computadoras y calculadoras digitales, prótesis auditivas, equipo industrial y militar, aparatos científicos y de comunicación. Para la fabricación de este tipo de pilas se utiliza zinc metálico que constituye el ánodo, y el cátodo es de óxido de mercurio con grafito.



En las pilas desechables como residuo se corre el riesgo de que el mercurio se transforme en metilmercurio. Las lámparas fluorescentes contienen de 50-100 mg de mercurio, por lo que la ruptura de una de ellas puede dar como resultado una concentración local de vapor de mercurio superior a los $7\text{mg}/\text{m}^3$.⁵⁵

e) **Otras fuentes.**

Ya que el carbón puede contener cantidades de mercurio en forma natural (0,04-0,07 mg/kg), los procesos de combustión en los cuales éste se emplea (como las plantas carboeléctricas, los hornos industriales y comerciales o las estufas y calentadores domésticos) se encuentran entre las fuentes importantes de emisión de este metal.⁵⁵



También se sabe que el petróleo puede llegar a contener mercurio, aunque existe incertidumbre acerca de la contribución que su combustión tiene en las emisiones al aire.

Una fuente adicional de emisiones de mercurio a la atmósfera es la incineración de cadáveres con amalgamas dentales con mercurio, a lo cual se agrega la volatilización en los tiraderos de basura municipales en los que se han desechado productos o equipos que contienen este metal, principalmente pilas.⁵⁵



2 . 8. Fuentes de exposición laboral de mercurio.

El nitrato mercúrico fue un factor de riesgo ocupacional frecuente en la industria y la sombrerería hace más de 400 años.

El cloruro mercúrico, que alguna vez se usó ampliamente como antiséptico, también fue utilizado con fines suicidas. Las sales mercúricas tienen aún muy diversas aplicaciones en la industria, y la descarga de residuos industriales en ríos ha introducido al mercurio en el entorno de diversas zonas del mundo. ²⁰

Los usos industriales del mercurio inorgánico incluyen de modo predominante la producción de clorálcali y la electrónica. Otros usos del metal son la elaboración de plásticos, fungicidas y germicidas, y la preparación de amalgamas en odontología. ²⁰

■Mercurio metálico:

- Manufactura de instrumentos científicos:
barómetros, termómetros.

- Lámparas de vapor mercurial e
incandescente.

- Amalgamas con Cu, Sn, Au.

- Industria química de la producción de
compuestos mercuriales, sosa cáustica y
ácido acético glacial.

- Soldaduras con aleaciones con Hg, Pb y Sn.

- Calderas de vapor de mercurio y arcos rectificadores mercuriales.

- Joyería de fantasía.





■ Compuestos inorgánicos:

- Industria de fieltros.
- Bronceado de metales.
- Industrias de pintura y color.
- Fotograbado.
- Industria farmacéutica y desinfectantes.

■ Compuestos orgánicos:

- Manufactura de explosivos.
- Fumigantes. ³⁵



2 . 8. 1. “Exposición ocupacional y efectos a la salud del mercurio metálico entre odontólogos y asistentes dentales: un estudio preliminar.”

La exposición a los vapores de mercurio procedentes de las amalgamas dentales, ha sido reconocida como un riesgo potencial para la salud del personal de odontología desde hace años, sobre todo entre aquellas personas que emplean métodos naturales para la preparación de las amalgamas, siendo este uso en los países en vías de desarrollo, como es el caso de Venezuela. El riesgo de intoxicación por Hg es mayor para el personal odontológico expuesto ocupacionalmente que para los pacientes que porten amalgamas, siendo esto avalado, entre otras investigaciones, por publicaciones en diversos países como E.U.A y Suecia. ²⁶



Las concentraciones atmosféricas de Hg metálico en consultorios odontológicos, son determinadas en buena medida por la presencia de sus residuos en el piso, por la eventual ocurrencia de derrames de metal, y por las exposiciones que pueden presentarse durante la preparación, inserción y pulido y, remoción de las amalgamas dentales.²⁸

Los efectos tóxicos del Hg elemental o metálico pueden incluir disminución de la función renal, inmunodeficiencia, dermatitis, gingivitis, complicaciones del embarazo y síntomas neurológicos como temblor, espasmos, debilidad, fatiga, pérdida de la memoria, depresión, polineuropatía, síndrome del túnel del carpo y disfunción visual leve.²⁸



El hecho de que la eliminación del Hg una vez absorbido y almacenado, es un proceso muy lento, lo que pudiera favorecer la ocurrencia de efectos acumulativos, derivados de la exposición ocupacional por períodos prolongados, a bajo concentraciones, como es el caso de los odontólogos, aún

a concentraciones ambientales permisibles ($TWA < 0.05 \text{ mg/m}^3$).²¹

- Material y métodos.

Un total de 66 personas, repartidas en 40 odontólogos (60.6%) y 26 asistentes dentales (39.4). Mayores de 18 años, participación voluntaria y tener por lo menos un año de exposición ocupacional al Hg. Los procedimientos y técnicas empleados para la recolección de datos fueron los siguientes:



- Identificación de las condiciones del medio ambiente de trabajo; las paredes, el techo, procedimientos para el manejo de y disposición final de los desechos del proceso de trabajo, la presencia o ausencia de dispositivos de ventilación mecánica con extracción local de vapores de Hg, la disponibilidad o no de los equipos de protección personal adecuadas (mascarillas con cartuchos anti-vapores de Hg, guantes, bata) o inadecuados al riesgo.
- Aplicación de una encuesta ocupacional, con los antecedentes personales y ocupacionales, condiciones de exposición laboral en el consultorio (tipo de piso: alfombra, granito, cerámica, madera, cemento, etc.); métodos de almacenamiento, manejo y disposición de los desechos del Hg y de las amalgamas. Y el uso de equipos de protección personal; el consumo regular de medicamentos, hábitos tabáquicos, alcohólicos e higiénicos.
No se investigó la presencia de restauraciones de amalgamas en la boca del personal estudiado, por enfocar el interés entre la relación de la exposición ocupacional y los niveles de los indicadores biológicos de exposición y efecto, y no en la contribución que pudiera tener la presencia de amalgamas personales.
- Análisis toxicológicos. Se recolectaron dos muestras de orina puntual, en envases estériles, desechables, el mismo día y hora, a cada trabajador.
El análisis estadístico se hizo con el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS), versión 5.0 para Windows.

- Resultados.

En cuanto a la presencia de medidas de prevención y control de riesgos en el puesto de trabajo, cabe señalar que en ninguno de los consultorios visitados existía ventilación mecánica con extracción local de vapores de mercurio.



El 89,2% de la muestra (33 sujetos) señaló que contaba con un amalgamador de cápsula en su consultorio. Sin embargo, se detectó que tres (10%) de estos aparatos tenían desperfectos de cierre, lo que posibilita el escape de vapores y la ocurrencia de derrames de metal; el 37.8% de los 37 sujetos refirió que contaba con guantes, bata y tapa-boca desechables, no existiendo mascarillas con cartuchos anti-vapores de Hg.

Un promedio de 40.5 amalgamas semanales para los odontólogos y 61.7 para los asistentes, fueron preparadas para posterior inserción, sin que se detectaran diferencias significativas entre las medias de los grupos bajo estudio, usando la prueba t de Student para comparar medias. ⁴¹

El cuestionario de síntomas referidos con mayor frecuencia por los odontólogos fueron: irritabilidad 54.5%, cefalea 45.4%, artralgias 40.9%, dispesia 36.3% y depresión 31.8%; y por los asistentes dentales incluyeron: artralgias 53.3%, irritabilidad 46.7%, cefalea 46.7%, mialgias 40% y tristeza 33.3%. ⁴¹

En el 80% de los sujetos estudiados se determinaron niveles de Hg-O inferiores a los 25 $\mu\text{g/g}$ creatinina, límite en el que se ha descrito que comienzan a aparecer los signos más precoces de la toxicidad de Hg. ³²



La presencia de agua disminuye la evaporación del Hg, y la evacuación por vacío, aspira el vapor generado por la pieza de alta velocidad. ⁴¹



- Conclusiones.

1. Se identificaron las condiciones de exposición de odontólogos y asistentes dentales evaluados al Hg metálico, estableciéndose que éstas eran favorables para la ocurrencia de la intoxicación crónica por este metal.
2. Se recomienda la aplicación de medidas de control del riesgo a Hg en los distintos sitios de trabajo, que incluyan la ventilación mecánica por extracción, el uso de amalgamadores automáticos completamente herméticos, la dotación del equipo de protección de personal adecuado cuando esté indicado, y la información del personal expuesto, acerca de los peligros que implica para la salud una manipulación inadecuada del Hg contenido en las amalgamas dentales.⁴¹

2 . 9. Fuentes contaminantes.

La liberación antropogénica ambiental de Hg se calcula en 2.000 toneladas al año.⁴⁸

El mercurio entra en el medio ambiente en la forma elemental como pérdida de los procesos industriales y de equipos convertidos en chatarra, así como en la forma de compuestos de mercurio debido a las actividades industriales y agrícolas. El mercurio también penetra en el medio ambiente debido a fuentes inesperadas. Hay cantidades importantes de mercurio en las aguas negras, como resultado del uso que hace un gran número de personas de compuestos químicos, farmacéuticos y pinturas que tienen un pequeño contenido de mercurio. Otra fuente de este elemento es la combustión del carbón, del petróleo y la gasolina.

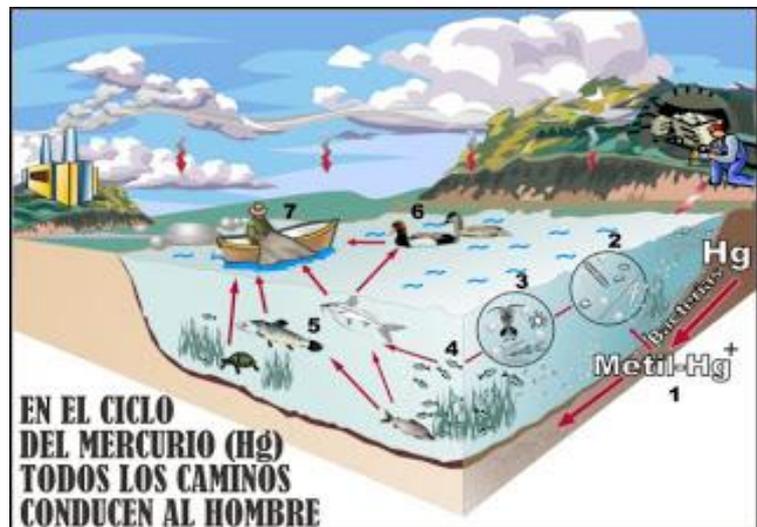


10



El mercurio se incorpora a los alimentos que come el hombre a través de los usos agrícolas y los abastecimientos de aguas. Es tóxico en la forma metálica y también lo es en el estado combinado. Las dos formas generales de mercurio combinado son el inorgánico y orgánico. En efecto, parece ser que el mercurio metálico y el inorgánico se convierten en mercurio metilado por medio de procesos biológicos que se producen en el agua que se encuentran desechos de él. Además, el **mercurio metilado (dimetil mercurio, Hg (CH₃)₂)** y el **ion metilo de mercurio (HgCH₃)** los absorbe el tejido de organismos vivos. Una vez que se produce esta absorción, estas formas de mercurio pueden permanecer en organismos durante largos periodos.

Conforme un animal se come al otro, el mercurio se puede incorporar a la **cadena alimenticia** y producir la concentración biológica de mercurio dentro de ésta. Esta concentración hace que los animales de la parte superior de la



cadena alimenticia tengan cantidades mayores de lo normal (superiores al nivel del fondo) de mercurio ya incorporado a sus tejidos.¹⁰

2 . 9. 1. “Los efectos del mercurio sobre la salud humana y el medio ambiente y una consideración especial a la vulnerabilidad en la fase temprana de la vida.”

Los autores correctamente enfatizan los daños irreversibles al Sistema Nervioso Central, (especialmente en las etapas más vulnerables de la vida) al mismo tiempo llaman sobre su uso en centros médicos. “La fase de la vida más vulnerable” – los fetos, recién nacidos y niños.



Las vacunas timerosal (VCT), compuesto utilizado como conservante en frascos de dosis múltiples. El timerosalse degrada en etilmercurio (Hg es el 49,6% en peso de la molécula de timerosal) y fue retirado de las vacunas para los niños en los países desarrollados. Con la excepción de Chile, todos los países de América Latina utilizan VCT (Vacuna contra la Hepatitis B).¹⁶



Estudios experimentales (*in vitro e in vivo*) mostraron que el timerosal en las concentraciones halladas en las vacunas pueden afectar las células cerebrales y a las respuestas neurológicas.¹¹

Estos estudios se pueden resumir del siguiente modo: a) hay una ambigüedad en algunos estudios que informan resultados del desarrollo neurológico que parecen depender de variables confusas; b) el riesgo de neurotoxicidad debido a dosis bajas de timerosal es plausible, al menos para los niños susceptibles; c) se necesita llevar a cabo estos estudios en países menos desarrollados que todavía utilizan VCT en las madres embarazadas recién nacidos y niños de corta edad.¹²

- Conclusión

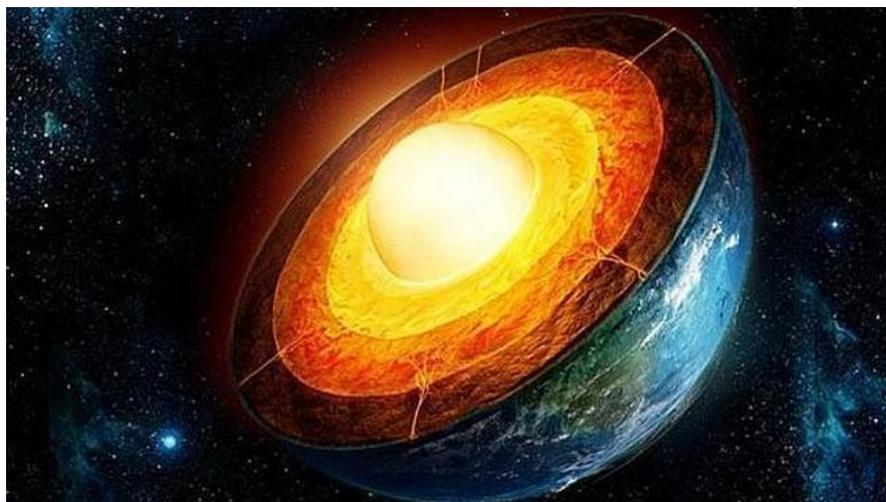
En muchos países se ha encontrado que los niños son más susceptibles que los adultos a reaccionar a la "Prueba del parche" de alergia al timerosal y al contacto con timerosal debido a la exposición a VCT. En efecto, la "Prueba del parche" para timerosal positiva muestra un patrón que ha cambiado con el uso o suspensión de VCT en los niños.¹⁶



2 . 9. 2. “Ciencia y estrategia para reducir los riesgos del mercurio: una revisión crítica.”

La exposición humana al mercurio, que puede acumularse en peces como el metilmercurio, puede causar retrasos en el desarrollo y daño neurológico, especialmente en los hijos de las mujeres expuestas al metilmercurio durante el embarazo. Se ha estimado que más de 300 000 recién nacidos en los EE.UU. están expuestos en el útero a niveles de metilmercurio asociado con un mayor riesgo de desarrollo neurológico. Del mismo modo un estudio realizado en Filipinas mostró que más del 70% de los trabajadores en la minería de oro o minerales tenían signo de intoxicación.⁴⁵

Existe el problema del mercurio en escalas de tiempo y que refleja que el mercurio constituye uno de los ciclos biogeoquímicos de la Tierra; como se trata de un elemento, el mercurio ha estado circulando en el medio ambiente, como resultado de las emisiones geológicas de los volcanes.⁴⁵



Estudios recientes han puesto de manifiesto que las concentraciones de mercurio en los océanos probablemente aún no han alcanzado el estado de equilibrio con respecto a los niveles actuales de deposición. El tiempo para la profundidad del océano Pacífico alcance el equilibrio con respecto a las concentraciones de mercurio se ha estimado en > 1.500 años, mientras que el tiempo correspondiente para el Atlántico es de 50-100 años.³³



Sin embargo, los recientes resultados de mediciones de isótopos han demostrado que el mercurio recientemente depositado puede ser rápidamente re-movilizado a la atmósfera en escalas de tiempo estacionales. Este proceso se ha denominado “la rápida re-emisiones” o “pronto reciclaje”.⁴⁶

Tras la deposición de los ecosistemas acuáticos, el mercurio se transforma en metilmercurio por la actividad biológica en ambientes anaeróbicos como los humedales, y por lo tanto convertido en una forma más tóxica para los seres humanos. Las fuentes humanas de mercurio pueden presentar diferentes cursos de la vida. Las fuentes puntuales, como las plantas eléctricas de carbón pueden durar varias décadas; la edad promedio de una planta térmica de carbón en los E.U.A. es de 40 años. Los productos que contienen mercurio (tales como termómetros, termostatos o equipos médicos) pueden permanecer en uso durante décadas o más. Eliminación de artículos que contienen mercurio posteriormente pueden convertirse en fuentes de área a la atmósfera.

La forma de mercurio de mayor preocupación en lo que respecta a la exposición humana y ambiental debido a sus propiedades tóxicas es el **metilmercurio**. Y este se produce sobre todo por el consumo de pescado contaminado; la exposición a altos niveles de metilmercurio provoca impactos neurológicos incluyendo trastornos sensoriales, ataxia y temblor. La dosis de metilmercurio a cualquier consumidor de pescado individual depende tanto de la concentración de mercurio en el pescado y la cantidad y variedad de peces que una persona consume.³¹

Mientras que las concentraciones de mercurio en la atmósfera son generalmente bajas, la atmósfera sirve como medio de transporte para distribuir el mercurio en todo el mundo. La bioacumulación de metilmercurio en los ecosistemas conduce a concentraciones más altas, pero las variaciones sustanciales permanecen dentro y entre especies.⁴⁵



- Conclusiones.

En 2007, los estados del noroeste desarrollaron una propuesta de Carga Diaria Máxima Total Mercurio (TMDL) en los EE.UU. conforme a la Ley de Agua Limpia (Sección 303 (d)), los estados deben identificar aquellas aguas órganos que fallan para cumplir con los estándares de calidad, y se necesitan más para evaluar la calidad diaria de cada contaminante que pueden asimilar sin violar la norma.

Este proceso de identificación, evaluación y regulación de potencial (de las contribuciones de la contaminación de fuente puntual) se conoce como el proceso TMDL.⁴⁵

Los primeros esfuerzos de reglamentación sobre el mercurio se centraron en las exposiciones agudas o laborales, principalmente para el mercurio elemental. En 1925, la Organización Internacional del Trabajo, incluyó el mercurio y los peligros asociados en su convención sobre la remuneración del trabajador y las enfermedades asociadas. En la década de 1940, numerosos estados de E.U.A. prohibieron el uso del mercurio en el sombrero.

Desde la década de 1990 en adelante, las políticas locales, nacionales e internacionales se han centrado cada vez más en hacer frente a la exposición al mercurio de las fuentes ambientales, específicamente **metilmercurio**, debido al consumo de pescado. Al abordar la contaminación de las vías fluviales locales, algunos estados de E.U.A. han tomado medidas para reducir sus emisiones de mercurio.

Para hacer frente a la contaminación de los cursos de agua compartidos y de transporte de largo alcance, se ha producido la cooperación transnacional en contextos regionales, como la Unión Europea, el Ártico y la región del Mar Báltico.

El desarrollo Regional de TMDL Nordeste es un ejemplo de cómo la región se ha involucrado en la dinámica entre escalas de emisión de mercurio, y los límites potenciales de acción dentro de la región.³¹



El TMDL establece metas para la reducción de la región, así como fuera de la región. Metas regionales fueron consistentes con el plan de acción regional de mercurio; anteriormente un 50% de reducción entre 1998 y 2003 (que fue superado), y una reducción del 75% entre 2003 y 2010. Re-evaluación de la meta se producirá en la actualidad para una tercera fase. El documento TMDL recomienda las acciones a nivel nacional para reducir las emisiones de plantas de energía en un 90% sobre la base de un (MACT) estándar “Tecnología de Control Máximo Alcanzable”.

La ciencia reguladora para apoyar las medidas políticas para reducir las emisiones de mercurio en los centros de trazar ruta de la fuente regulada a los impactos. Esto implica emisiones de unión, la deposición, la conversión al metilmercurio, y un análisis de los beneficios de la acción reguladora, normalmente llevadas a cabo por los científicos.

Las emisiones estadounidenses de mercurio han disminuido drásticamente desde la década de los 80. A finales de 1990, las emisiones de mercurio procedentes de la incineración de desechos municipales y médicos estaban reguladas bajo la sección 129 de la Ley Federal de Aire Limpio.

Como resultado de estas acciones, las emisiones de mercurio de Estados Unidos disminuyeron de 220 toneladas en 1990 a 115 toneladas en 1999.

En las enmiendas a la Ley de Aire Limpio de E.U.A. de 1990, el mercurio fue específicamente listado como un grupo Contaminante peligroso del aire. En enero de 2004, la EPA propuso una regla para regular el mercurio: refleja el procedimiento de la Ley de Aire Limpio, aplicaron una “Tecnología de Control Máxima Alcanzable” (MACT) estándar. ⁴⁵



2 . 10. Normatividad relacionada con el manejo de mercurio.

- Normatividad existente para la contaminación de suelos.

En México no se ha definido el marco normativo específico para la restauración de suelos contaminados por metales pesados, razón por la cual se debe utilizar como referencia la normatividad de los Estados Unidos de América o de otros países. Es importante señalar que la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) elaboró criterios interinos para la restauración de suelos contaminados para contaminantes orgánicos e inorgánicos; sin embargo, nunca fueron considerados como oficiales debido a que este organismo no tiene atribuciones para elaborar normas ni leyes en México, pero sirvieron de guía para la evaluación de sitios contaminados en el año de su vigencia (2000).⁵⁵

- Normatividad existente para emisiones al aire.

En México se cuenta con un proyecto de Norma Oficial Mexicana (PROY-NOM-098-ECOL-2000, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes) para las emisiones de los procesos de incineración de residuos en los que se considera un límite de emisión de **0.07 mg/m³** para el mercurio.⁵⁵

CAPÍTULO 3

“TOXICIDAD DEL MERCURIO.”

3 . Toxicidad.

Capacidad de cualquier sustancia química de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo.³⁰

Se ha determinado que en el hombre la vida media biológica del mercurio (como metilmercurio) es de alrededor de 70 días (de aproximadamente 1% por día).¹⁹



El mercurio se almacena en muchos tejidos, especialmente en el hígado y en el cerebro. Los efectos tóxicos graves sobre el sistema nervioso central se han encontrado con contenidos cerebrales de 12 mg de mercurio y los estudios de distribución con Hg radiactivo demostraron que, en el equilibrio de flujos, del 10 al 20% del total de Hg en el organismo está en el cerebro; por tanto, una carga corporal total de cerca de 100 mg será tóxica. ¹⁹

3 . 1. Inmunotoxicidad.

Se basa en el principio de que las pequeñas alteraciones en las células del sistema inmune provocadas por los materiales pueden tener consecuencias biológicas significativas. Los monocitos controlan la mayoría de las respuestas inflamatorias e inmunes crónicas, segregan muchas sustancias que afectan a otras células y las dirigen. La inmunotoxicidad puede surgir como consecuencia de que un material provoque el aumento o disminución de la función celular. Se ha demostrado que los iones de mercurio aumentan el contenido del glutatión (transporta hidrógeno y contribuye a la integridad de los eritrocitos) en los monocitos humanos. ³⁵



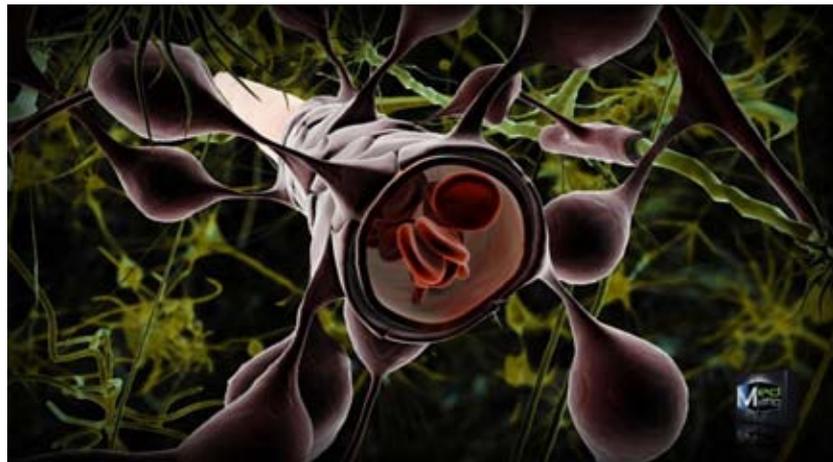
3 . 2. Toxicocinética.

Paso a través del sistema corporal de un agente tóxico o de sus metabolitos, habitualmente en forma similar a la de la farmacocinética. ²⁰



3 . 3. “Relevancia de los antecedentes genéticos individuales para la toxicocinética de dos sustancias tóxicas del desarrollo neurológico significativo: Mercurio.”

El órgano más susceptible es el cerebro. La exposición durante el embarazo y la primera infancia puede causar trastornos del neurodesarrollo y la disfunción cerebral subclínica. Pueden afectar a los procesos de desarrollo críticos incluyendo la proliferación celular, la migración, la diferenciación, la sinaptogénesis, la mielinización y la apoptosis. Neurotoxicidad del desarrollo ocurre cuando el mercurio interfiere con uno o más de estos procesos. Esto inicia una cascada de alteraciones, que pueden dar lugar a deficiencias permanentes que no se detectan hasta más tarde. ⁴



El mercurio es un metal ubicuo, persistente y bioacumulativo; el metilmercurio es un compuesto orgánico que se acumula a lo largo de las cadenas alimentarias acuáticas. El consumo de peces depredadores, mariscos o mamíferos marinos es una fuente importante de exposición al MeHg en los seres humanos. Otras fuentes de exposición al mercurio son la exposición ocupacional y las amalgamas dentales, que tanto contribuyen a vapores de mercurio, exposición y preparados médicos que contienen mercurio etílico. ⁴



Fácilmente atraviesa las membranas celulares y en la célula ejercen efectos pro-oxidativos, inhiben procesos antioxidantes, y agotan el **glutación intracelular (GSH)**. Tiene una alta afinidad a los grupos sulfhidrilo libre. ¹

	Efectos	Mecanismos subyacentes.
Metilmercurio	SNC maduro (efecto de dosis altas): largo período de latencia, lesiones focales; parestesia, ataxia cerebelosa, disartria, visual y pérdida de la audición en desarrollo del SNC. (efecto de dosis altas): daño generalizado de todas las áreas, perturbado división celular neuronal y migración.	Necrosis, apoptosis: la pérdida de células neuronales en regiones cerebrales específicas Ataxia: pérdida de células granulares en el cerebro. Inhibe ensamblaje de los microtúbulos, afecta a Ca ²⁺ .
Vapor de mercurio	Eretismo, temblor.	Aumenta la expresión de la proteína precursora amiloide, estimula la formación de β-amiloide insoluble.
Etilmercurio	SNC: efectos similares a los del metilmercurio, pero menos potente agente neurotóxico. Acrodinia.	

Tabla: Efectos adversos del mimetismo de Ca.



-
- Relevancia de los antecedentes genéticos de la toxicocinética de mercurio.

En general la gravedad de un efecto tóxico depende de la dosis, duración y momento de la exposición. Entre los diversos factores biológicos y no biológicos que modulan la susceptibilidad individual (por ejemplo, edad, sexo, dieta) el genotipo juega un cierto papel porque constituye ciertos fenotipos desintoxicantes, que van desde los individuos con funciones enzimáticas y de desintoxicación regular a los metabolizadores pobres con baja o ninguna actividad enzimática. Por lo tanto la composición genética constituye la base biológica de la vulnerabilidad individual a las exposiciones tóxicas y los riesgos.⁴

- Disposición de mercurio en el cuerpo.

Metilmercurio es absorbido eficientemente a 95% desde el tracto gastrointestinal y se distribuye uniformemente en el cuerpo dentro de los tres días. Hasta el 10% de la dosis total se acumula en el cerebro. En el hígado y el riñón, se convierte rápidamente en mercurio inorgánico y se almacena como catión divalente de mercurio (Hg^{2+}); 95% de MeHg en sangre está unido a los eritrocitos dejando 5% presente en el plasma. Los tejidos de la placenta no impiden la transferencia de MeHg fetal. Menos del 1% de la carga corporal de MeHg se excreta por día; esto principalmente a través de las heces. Hg evapora de la superficie de mercurio metálico, por ejemplo, de los empastes de amalgama; es inhalado en el pulmón, donde aproximadamente el 80% se retiene en el cuerpo. El vapor disuelto absorbido se acumula en las células rojas de la sangre. A través de la corriente sanguínea, se distribuye por todo el cuerpo, y en éste atraviesa también los tejidos de la placenta y barrera hematoencefálica. En el cerebro, se almacena en forma de **selenurio de mercurio**, que reside en el tejido cerebral durante años. El riñón es el órgano principal de almacenamiento de Hg^{2+} . La excreción se lleva a cabo a través de la orina y las heces.⁴



- Captación de Mercurio.

El mercurio se transfiere a través de las membranas celulares a través de mecanismos de transporte pasivos y activos. El transporte de mercurio activo implica los transportadores de aminoácidos L LAT1 y LAT2 y lo orgánico transportadores de aniones OAT1 y OAT3.

- Biotransformación y distribución.

Un mecanismo fundamental de la biotransformación de mercurio es la reacción de conjugación entre el mercurio y la molécula de GSH. Los mercurio-GSH-conjugados resultantes están sujetos a la excreción renal o biliar. Las metalotioneínas (MTs) desempeñan un cierto papel en la dispersión y almacenamiento de mercurio en el cuerpo. La activación GSH y la síntesis de MT se consideran dos grandes respuestas de adaptación que impiden la toxicidad del mercurio en los seres humanos. ⁴

- Eliminación de mercurio.

La superfamilia de ATP (transportadores ABC) es una proteína grande y ampliamente expresada y responsable del transporte activo de diferentes compuestos a través de las membranas biológicas, incluyendo medicamentos terapéuticos (por ejemplo, agentes contra el cáncer) y xenobióticos. Porque confieren un fenotipo resistente a múltiples fármacos. ²²

3 . 4. Toxicidad del Mercurio.

El mercurio y sus compuestos son tóxicos citoplasmáticos, desnaturalizan proteínas y bloquean el metabolismo celular de los carbohidratos a nivel del ácido pirúvico. Algunos además son irritantes primarios, hipersensibilizantes o causan disfunción simpático vasomotora e hiperfunción adrenocortical con liberación de catecolaminas. El Hg elemental se evapora a la temperatura ambiente y sus vapores son los causantes de las intoxicaciones ya que se puede inhalar o absorber a través de la piel. ³⁵



Su toxicidad está caracterizada por el elemento metálico en cuestión, pero se ve modificada por el tipo de compuesto, orgánico o inorgánico y sus características de hidrofobicidad o liposolubilidad, que determinan su toxicocinética. Las biomoléculas más afectadas son las proteínas con actividad enzimática por lo que su compromiso es multisistémico (gastrointestinal, neurológico central y periférico, hematológico y renal, entre otros).⁴⁸

RfD: Dosis de referencia para mercurio orgánico (cantidad ingerida en un período de tiempo sin producir efectos adversos para la salud).²

La intoxicación por mercurio puede ser intencional, la cual es frecuente entre los profesionales que disponen de compuestos mercuriales en su oficio, tales como ebanistas (biclouro de Hg) y en odontólogos también por sales inorgánicas de mercurio.⁵

Mercurio elemental: La exposición breve a los vapores del mercurio elemental puede producir síntomas en término de horas, incluso debilidad, escalofríos, regusto metálico, náuseas, vómito, diarrea, disnea tos y sensación de opresión en el tórax. La toxicidad pulmonar puede evolucionar a neumonitis intersticial, con disminución importante de la función respiratoria. La recuperación, aunque a menudo es completa, puede verse complicada por la fibrosis intersticial residual.²⁰

La exposición o contacto a largo plazo con vapores de mercurio produce una forma más insidiosa de intoxicación en la que predominan los efectos neurológicos (Friberg y Vostal, 1972). Se le conoce como *Síndrome vegetativo asténico* y consiste en síntomas neurasténicos, además de tres o más de las manifestaciones siguientes (Goyer y Clarkson, 2001): bocio, mayor captación de yodo radiactivo por tiroides, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, dermatografismo e incremento de la concentración de mercurio en la orina.²⁰



Con la exposición interrumpida a los vapores de mercurio, los temblores se vuelven manifiestos y surgen cambios psíquicos que consisten en depresión, irritabilidad, timidez excesiva, insomnio, disminución de la confianza en sí mismo, inestabilidad emocional, tendencia al olvido, confusión, impaciencia y perturbaciones vasomotoras (como hiperhidrosis intensa e hiperemia incontrolable, lo que en conjunto se denomina *eretismo*).²⁰

Sales inorgánicas de mercurio: el mercurio iónico inorgánico (es decir, el cloruro mercúrico) produce una intoxicación aguda intensa. La precipitación de las proteínas de las mucosas por acción de las sales mercúricas ocasiona un color gris ceniza en la mucosa de boca, faringe e intestinos, y a veces causa un dolor intenso que puede acompañarse de vómito. Se percibe que este último es protector, porque elimina del estómago el mercurio no absorbido; en el supuesto de que el sujeto esté consciente y alerta, es importante no inhibir el vómito. El efecto corrosivo local del mercurio inorgánico iónico en la mucosa gastrointestinal ocasiona hematoquezia intensa y signos de esfacelo de la mucosa, en las heces. Si no se da el tratamiento apropiado puede surgir choque hipovolémico y muerte. El tratamiento correcto inmediato puede anular los efectos locales del mercurio inorgánico. La toxicidad sistémica puede comenzar en término de horas de exposición al mercurio, y persistir durante días. Después de un regusto metálico intenso surge estomatitis, con irritación gingival, fetidez del aliento y movilidad de los dientes. El efecto sistémico más grave y frecuente del mercurio inorgánico es la toxicosis renal. La necrosis tubular renal se advierte después de exposición breve, y culmina en oliguria o anuria. También surge lesión renal después de exposición a largo plazo al mercurio inorgánico; sin embargo, predomina la lesión glomerular, que es resultado de los efectos directos en la membrana basal glomerular y el efecto indirecto ulterior mediado por complejos inmunitarios (Goyer y Clarkson, 2001).²⁰



Mercuriales orgánicos: los síntomas de exposición al metilmercurio tienen más bien un origen neurológico y consisten en trastornos visuales (escotomas y constricción campimétrica), ataxia, parestesias, neurastenia, hipoacusia, disartria, deterioro mental, temblor muscular, y trastornos cinéticos, y en la exposición grave, parálisis y muerte. Se encuentran cambios morfológicos en el área calcarina de los lóbulos occipitales, los lóbulos precentrales y poscentrales, y la circunvolución transversa temporal; se hallan lesiones difusas en el cerebro, y aumento de las células glandulares en el cerebro (Eto, 1997). El metilmercurio puede ejercer efectos en el feto aun cuando la madre sea asintomática, y se han observado retraso mental y déficit neuromuscular.

20

3 . 4. 1. Cuadro Clínico:

- a) Sales Inorgánicas: Los vapores de mercurio se absorben en un 80%, principalmente por la vía respiratoria. Las sales inorgánicas de mercurio, van a lesionar especialmente el sistema renal y a ocasionar lesión de las mucosas que entren en contacto con ella.

La ingestión de sales inorgánicas de mercurio, ocasiona gingivitis, sialorrea, disfagia, gastroenteritis severa con deshidratación, vasodilatación esplánica y muerte. Si el paciente no fallece, aparecen posteriormente las manifestaciones renales que evolucionan de poliuria a anuria y muerte.⁵

- b) Mercuriales orgánicos: Los compuestos orgánicos como el metilmercurio se absorben en un 100% de la vía oral, mientras que el mercurio tiene una muy baja absorción por esta vía (0,01%).
- c) Vapores inorgánicos: El hecho de que el mercurio emita vapores a la temperatura de 18°C, explica su gran importancia toxicológica en odontología y en minería; pero lo que es más grave aún es el hecho de que a 20°C su concentración en la atmósfera es 130 veces mayor que la máxima concentración permitida en ambientes laborales.



Los vapores de mercurio son absorbidos por inhalación y pasa tan rápidamente al torrente circulatorio y al cerebro con una velocidad de paso tal, que impide que la catalasa lo oxide y termina fijándose en el cerebro, en donde va a ocasionar los mayores daños. ⁵

3 . 5. “Tiempo de retención de mercurio inorgánico en el cerebro. Una revisión sistemática de la evidencia.”

El concepto de vida media de eliminación es fundamental para el estudio de la farmacocinética y toxicocinética. La vida media para un xenobiótico se define como el tiempo que tarda el xenobiótico para disminuir su concentración en un compartimiento cuerpo dado en un 50%. Además una concentración en estado estacionario se llegó después de un tiempo de aproximadamente de cinco veces la vida media de eliminación para un xenobiótico dado.

El mercurio inorgánico en sí no puede acceder al cerebro, sin embargo, como el mercurio elemental etilmercurio y metilmercurio se metabolizan al mercurio inorgánico dentro del cerebro, es importante el conocimiento de su vida media.

Se cree que la forma de almacenamiento a largo plazo de mercurio inorgánico en el cerebro es de **Selenurio de mercurio**, y los depósitos en el cerebro son químicamente inertes y no tóxicos.

Un estudio realizado por Hursh en 1976 y sus colegas, condujo a una estimación de la vida media del mercurio inhalado en la cabeza de 21 días. ²⁵

3. 6. Intoxicación sobreaguda.

Cuando la concentración en el ambiente es muy alta, se produce una intoxicación sobreaguda con debilidad, escalofríos, vómitos, diarrea, tos, sensación de opresión torácica, neumonitis y fibrosis intersticial.



Se puede describir el cuadro clínico como la producción de un cuadro **“neurovegetativo asténico”** o **“micromercurialismo”**, el cual se caracteriza por disminución de la productividad, pérdida de la memoria, sensación de debilidad muscular, cambios de personalidad, estados depresivos y cambios de comportamiento.

Otro síntoma es el denominado **“eritismo mercurial”** constituido por un aumento de la excitabilidad, aparición de respuestas anormales a los estímulos, temblor que hace a veces imposible la ejecución de la labor, cambios en la escritura haciéndola ilegible. Aparecen igualmente otra serie de signos y síntomas como son los relacionados con la orofaringe, el sabor metálico que acusa el paciente y el cual se debe al ciclo que hace el metal a través de las glándulas salivales.⁵

El **signo de Atkinson** consistente en una coloración parduzca de cara anterior del cristalino, ocasionada por el mercurio.⁵

Máxima concentración de	Mercurio en:
Aire	100 ug.m3 de aire
Orina	0,05 mg/litro o 50 ug/l
Cabello	7ppm
Uñas	5ppm
Sangre	30 ng/ml (ug/litro)

3 . 7. **“Mercurio amalgamas dentales: una evidencia epidemiológica.”**

El mercurio se combina fácilmente con otros metales para formar amalgamas sólidas, que se han utilizado de forma continua en odontología durante casi 200 años para reconstruir los dientes cariados. El mercurio en odontología ha sido motivo de controversia desde por lo menos mediados del siglo XIX.



Esta controversia se ha intensificado en los últimos 25 años, ya que las técnicas de química analítica mostraron una liberación continua de mercurio de las amalgamas dentales (Gay et. al. 1979).³⁴

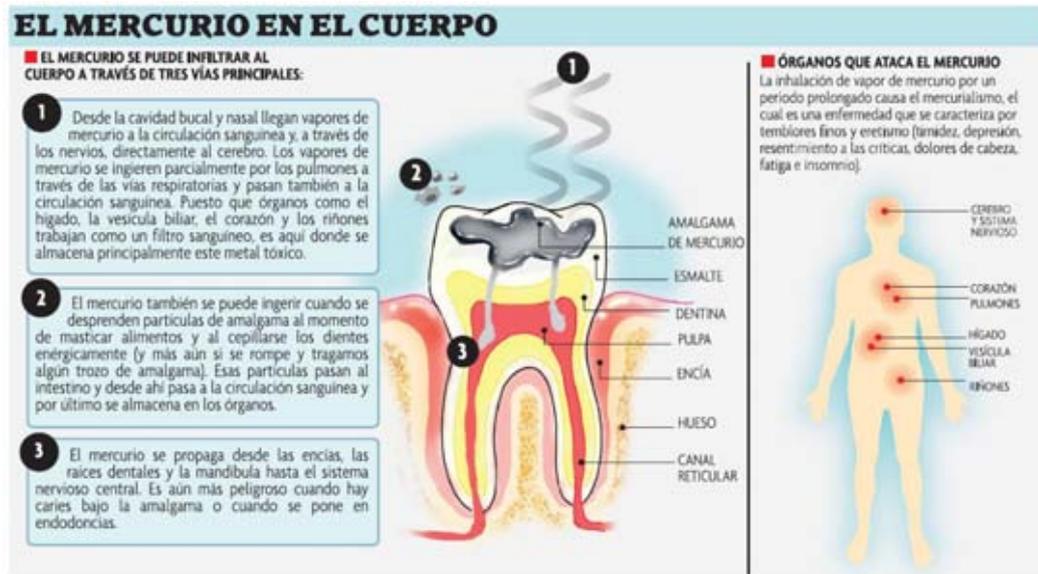
Los empastes de amalgama liberan vapor de mercurio de forma continua en niveles bajos. La velocidad de liberación depende del tamaño del relleno, la ubicación de los dientes y la superficie, la masticación, la textura del alimento, rechinar los dientes, cepillarse los dientes, así como el área de la superficie, composición y la edad de la amalgama. Las correlaciones se han demostrado entre el número de amalgamas y aire espirado (Patterson et. al. 1985) y las concentraciones de mercurio en la orina (Langworth et. al. 1988).³⁴

El mercurio inorgánico afecta principalmente a los SN y renales, aunque también puede tener efectos sobre el sistema inmunológico, respiratorio, cardiovascular, gastrointestinal, hematológico y reproductivo. Estos efectos tóxicos pueden estar mediados por la unión de mercurio a sulfhidrilo grupos de enzimas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 1999).³⁴

- Captación de mercurio de las amalgamas dentales.

Los signos y síntomas de la exposición al mercurio en el trabajo en general, se han asociado a concentraciones de mercurio del aire superior a 50mg/m³, que corresponden a las concentraciones de mercurio en la orina superior a 100mg/l. el rango de concentraciones de mercurio en la orina de personas que no tienen exposición ocupacional es de hasta 20mg/l. (US Food and Drug Administration, 2002).

Absorción diaria de aire del ambiente es de aproximadamente 0,24mg, en comparación con 3,17mg de los empaste de amalgama. La absorción de mercurio inorgánico desde el tracto gastrointestinal no es más de 10%, la absorción de vapor de mercurio en los pulmones es de aproximadamente 80% de la cantidad inhalada (Departamento de Salud y Servicios Humanos, 1997).³⁴



- Incidencia de la enfermedad crónica y la mortalidad.

Un estudio sueco contenía 1,462 mujeres, reclutadas en 1968-69 en la edad de envejecimiento de 38-60 años. Mujeres que tienen > 20 superficies de amalgama (632), se compararon con las mujeres con 0 a 4 empastes de amalgama (180). Los riesgos de infarto de miocardio, accidente cerebrovascular, la diabetes y la mortalidad general se asociaron con más amalgamas. No se observó una correlación negativa entre el mercurio en suero y la tasa de mortalidad.³⁴

La Fuerza de Defensa de Nueva Zelanda tiene su propio servicio dental interno, y el tratamiento es regular, obligatorio y consistente a través de las filas. La cohorte de 20.000 personales fue seguida entre 1977 y 1997, no hubo asociaciones entre una gama de amplias categorías de resultados de la enfermedad y la exposición de amalgama. No se encontraron asociaciones entre una gama de la muerte o de cáncer, aunque la cohorte era bastante joven al final del seguimiento y relativamente pocas muertes (189) o cánceres (264) se había producido.³⁴



- Esclerosis múltiple.

Un cuestionario de síntomas se administró a 42 pacientes con EM con sus empastes de amalgama retirados y 44 pacientes con EM que mantuvieron sus rellenos (Siblerud y Kienholz, 1994). El grupo que conserva sus amalgamas reportó un 34% más de los síntomas en el último año. No parecía que se verificaron los diagnósticos de EM y no puede haber sido un efecto placebo después de la eliminación de amalgama.

Tres estudios y casos de controles con EM han examinado la asociación con amalgamas dentales. Un estudio canadiense contenía 143 pacientes con EM y 128 controles emparejados (Bangsi et. al. 1998). El número promedio de empastes de amalgama en los casos y los controles fueron 8,4 y 8,8 respectivamente ($p > 0,05$). Evaluación de las relaciones exposición-respuesta, con al base en el número de empastes de amalgama y el tiempo desde la primera colocación, proporciona evidencia débil de riesgo creciente.

Un estudio caso-control de 39 mujeres con EM y 62 controles se llevó a cabo en Inglaterra en 1989-90 (Mc Grother et.al. 1999). Los casos fueron diagnosticados durante 1977-1985, y de edades 25 a 65 años al momento del diagnóstico. Todos los sujetos recibieron un examen dental durante el estudio. Los casos han tendido a descuidar su tratamiento dental en comparación a los controles. Estas características habrían oscurecido cualquier verdadera relación entre los empaste de amalgama y EM. ³⁴

En resumen, los estudios publicados no son concluyentes, aunque hay algunos indicios de una asociación entre las amalgamas dentales y EM, limitaciones de los estudios disponibles incluyen el uso de casos prevalentes, un pequeño número de sujetos, y los datos de exposición inadecuados.



- Enfermedad de Parkinson.

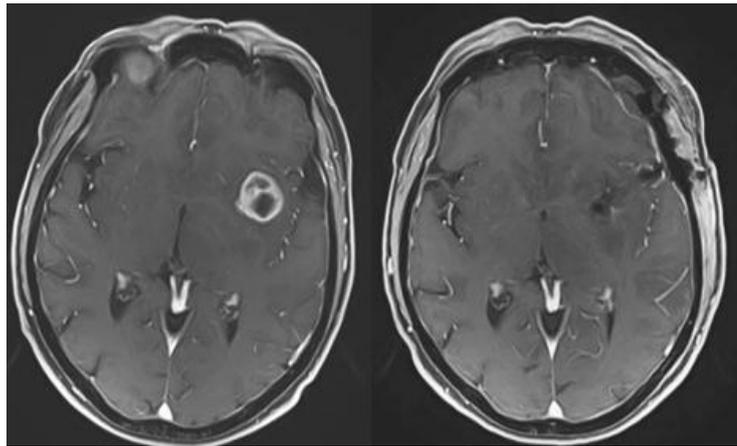
Sólo un estudio ha investigado el papel de la amalgama en la enfermedad de Parkinson (Seidler et.al. 1996). Un síntoma clásico de envenenamiento por mercurio, al igual que con la enfermedad de Parkinson, es temblor fino de las manos. Sin embargo, la frecuencia del temblor es mayor para la exposición al mercurio que para la enfermedad (Biernat et.al. 1999).

Este estudio de casos y controles comparó 380 pacientes con enfermedad de Parkinson alemanes con 379 de vecindario y 376 controles regionales. En entrevista, se preguntó a los casos para indicar el número de empastes de amalgama. Que tenían antes del inicio de la enfermedad; se pidió a los controles sobre su número de empastes de 1 años atrás de la entrevista. ³⁴

En promedio, los casos de Parkinson reportaron un mayor número de empastes (7,8) tanto los controles de vecindario (6,5) y regionales controles (6,1). Las limitaciones de este estudio fueron el uso de los casos prevalentes y los datos de exposición de amalgama a base de entrevista. ³⁴

- Enfermedad de Alzheimer.

Sesenta y ocho casos postmortem se compararon con 33 controles procedentes de un programa de donación de cerebros voluntarios. Historias dentales detalladas se obtuvieron de los registros dentales y radiografías. Se analizaron muestras de la corteza cerebral para el mercurio. Tres índices de exposición de amalgama, basadas en eventos (es decir, en la colocación de la amalgama, la reparación o eliminación), la ubicación en la boca. No se encontró asociación estadística entre los índices de exposición y las concentraciones de mercurio o enfermedad de Alzheimer en las partes del cerebro. ³⁴



- Neuropsicológica y la función neurofisiológica.

Se realizó un estudio de 129 monjas, entre 75 a 102 años, que viven en un centro de retiro (Saxe et.al. 1995). La exposición a la amalgama se evaluó mediante una cámara intraoral. Las monjas completaron ocho pruebas de función cognitiva. Los resultados del ensayo no mostraron evidencia de deterioro del rendimiento asociado con la exposición de amalgama. Este estudio tenía datos de buena calidad sobre la exposición de amalgama actual, pero no hay información sobre la duración de la colocación. A pesar de ello, proporcionó cierta seguridad de que **las amalgamas dentales no afectan el rendimiento cognitivo.** ³⁴

Un estudio de 550 adultos de NY, entre 30-49 años de edad, se encontró una correlación entre la excreción urinaria de mercurio y tanto el número total de superficies de amalgama. No se encontraron asociaciones entre cualquiera de los niveles de mercurio en la orina o el número de empastes de amalgama de las puntuaciones en las pruebas neuropsicológicas.

Se han realizado pocos estudios sobre si los empastes de amalgama se asocian con disminuciones de la función neurológica periférica. Sin embargo, Kingman et. al. 2005, llevó a cabo un examen neurológico (sin incluir las pruebas de velocidad de conducción nerviosa) y pruebas sensoriales cuantitativas a 2.038 militares estadounidenses.



La exposición (número total de superficies de amalgama) se evaluó en los exámenes orales por los dentistas. En general, no se encontró asociación entre la exposición a la amalgama y los signos clínicos de neuropatía o umbrales sensoriales. En general, los estudios disponibles no proporcionan evidencia de los empastes de amalgama en la función neurológica.³⁴

- Efectos sobre la función inmunológica.

En un estudio de los suecos de 15 años, una correlación estadísticamente significativamente entre el tipo de inmunoglobulina A (IgA) y la concentración de mercurio en plasma, no habiendo correlación con la IgE (Herrström et. al. 1994). Un estudio de seguimiento de uso de 77 estudiantes de 19 años de edad, la mitad de las enfermedades alérgicas (asma, rinitis alérgicas, eczema), no confirmo la correlación IgA. Una vez más no hubo una asociación con la IgE. No se encontró asociación entre el mercurio en plasma y la enfermedad alérgica. Los autores sugirieron que su resultado positivo podría haber sido un falso positivo que surge de la gran cantidad de comparaciones estadísticas que se llevaron a cabo.

El número de empastes de mercurio en 33 niños con Púrpura de Henoch-Schönlein y 31 con Glomerulonefritis aguda, ambas enfermedades autoinmunes, se compararon con los números de los rellenos en un grupo de control. No se encontraron asociaciones de amalgama. Hasta la fecha, sólo bien documentado, el raro efecto, la salud asociados a las amalgamas dentales son las reacciones alérgicas (Pang y Freeman, 1995). Estos por lo general mejoraron si los rellenos se eliminan (Flandes, 1992).³⁴

- Efectos sobre la salud renal.

La preocupación por los posibles efectos de la liberación de mercurio de la amalgama sobre la función renal fue causada por una demostración de la función renal en seis ovejas, cada uno con 12 obturaciones oclusales (Boyd et. al. 1991). Otros estudios han demostrado que las personas con empastes de amalgama tienen mayores concentraciones de mercurio en el riñón que las personas sin amalgamas (Nylander et. al. 1987; Barregard et. al. 1999).



Unos pocos estudios han investigado la función renal en los seres humanos en relación con la carga de amalgama. Ninguna asociación de las proteínas urinarias indicativos de daño renal, ya sea con amalgamas dentales o los niveles de mercurio en la orina, se encontró en 48 estudiantes sanos de sexo masculino, edad 17 a 22 años (Herström et. al; 1885). Un estudio de 100 adultos sanos (18-44 años) mostró un pequeño aumento en los niveles urinarios de *N*-acetil- β -glucosaminidasa (NAG) en personas con amalgamas (Eti et. al; 1995). Los autores consideran que este aumento probablemente no tiene importancia clínica.³⁴

Los cambios en la función renal se investigaron después de la eliminación de un promedio de 18 empastes de amalgama de 10 voluntarios sanos (Sandborgh-Englund et. al; 1996). Sesenta y siete días después de la eliminación de la amalgama, los niveles de mercurio significativamente más bajos se encontraron en la orina, pero ningún cambio en los indicadores de la función renal. 20.000 efectivos militares de Nueva Zelanda no se encontró relación entre la exposición de la amalgama dental y cualquier serie de enfermedades renales identificados en los datos del alta hospitalaria (Bates et. al; 2004).³⁴

- Efectos sobre la reproducción y los efectos en los niños.

Los estudios epidemiológicos no han mostrado en general ningún efecto de mercurio inorgánico en los parámetros reproductivos, incluyendo la fertilidad (Schuurs, 1999). En el estudio de cohorte, de personal militar de Nueva Zelanda (antes mencionado), hubo 1.062 nacimientos en la categoría de “complicaciones del embarazo y del parto” (códigos CIE-9 630-677). Sin embargo, no hubo asociación de estas enfermedades con la exposición acumulativa de amalgama. Un estudio de casos y controles de 1117 bajo peso al nacer y 4.468 controles en el estado de Washington no se encontró ninguna asociación con la colocación de las restauraciones de amalgama dental en las madres durante el embarazo.³⁴



- **Discusión.**

Cientos de millones de personas en todo el mundo tienen dientes que contienen los empastes de amalgama de mercurio. Aunque el uso de estos rellenos se ha ido reduciendo, se estimó que, en 1990, casi 100 millones de empastes de amalgama se insertaron en los dientes en E.U.A. (Departamento de Salud y Servicios Humanos, 1993). Esto representa aproximadamente **75 a 100 toneladas de mercurio** colocadas en boca de la gente (Eneström y Hultman, 1995). **Clarkson ha caracterizado a la amalgama dental como una de las “tres cara modernas de mercurio”. Los otros dos son el metilmercurio en el pescado y el etilmercurio (timerosal) como conservante en las vacunas.**

La exposición al mercurio de las amalgamas dentales están por debajo de la exposición al mercurio de manera concluyente asociados con efectos sobre la salud en estudios ocupacionales. Sin embargo, estudios ocupacionales comúnmente sufren de sesgo de selección (el “efecto del trabajador sano”), la duración de la exposición y el seguimiento son a menudo limitadas, y las poblaciones ocupacionales demasiado pequeñas para detectar efectos no comunes (Weiner et. al; 1990).

Los estudios ocupacionales son poco probables para detectar aumentos de riesgos de enfermedades predominantes en los ancianos (por ejemplo, enfermedades de Alzheimer o Parkinson) o enfermedades no malignas de baja incidencia.³⁴

A pesar de casi 200 años de uso y su prevalencia muy extendida, el apoyo a la continuación del uso de amalgamas dentales se basa generalmente en la falla de la evidencia de daño, en lugar de los estudios demuestran la seguridad real.



Típico de las declaraciones emitidas por los organismos oficiales es que por la “Food and Drug Administration” (2002), E.U.A., “no hay evidencia científica válida que ha demostrado que las amalgamas causan daño a los pacientes con restauraciones dentales, excepto en los casos de alergia”. La **Asociación Dental Americana** (2002) se basa en este tipo de evaluaciones.

Esta revisión muestra que se han realizado pocos estudios epidemiológicos analíticos de las amalgamas dentales y sus posibles efectos sobre la salud. Los estudios a menudo han tenido un pequeño número de sujetos u otras limitaciones metodológicas significativas, lo que hace difícil la interpretación. La principal limitación ha sido la evaluación de la exposición, que por lo general se ha basado en un examen dental actual y no ha tenido en cuenta el calendario de colocaciones de amalgama o el historial de tratamiento dental. Una dificultad es que la mayoría de la gente cambia dentistas en el transcurso de sus vidas, sus registros de tratamiento a menudo no viajan con ellos, y estos registros no se han mantenido por los dentistas de una manera consistente.³⁴

- Conclusión.

A pesar de la amplia utilización de los empastes de amalgama dental, los datos epidemiológicos para establecer su seguridad son insuficientes. Se proporciona tranquilidad a la mayoría de las enfermedades renales, efectos en la función neuropsicológica, el síndrome de fatiga crónica y complejos de síntomas no específicos; con mayor necesidad de una investigación son las enfermedades neurodegenerativas y los efectos en los lactantes y niños. Para proporcionar una perspectiva equilibrada, no debe pasarse por alto que los riesgos asociados con materiales de relleno alternativos tampoco se han estudiado ampliamente.³⁴



CAPÍTULO 4

“RESEÑA HISTÓRICA.”

4. Sucesos cronológicos.

- 1878. Denis elabora el primer estudio sobre intoxicación profesional con mercurio.
- 1953 y 1960. Bahía de Minamata, Japón. Se produjo la intoxicación de 121 personas y 46 muertes con problemas neurológicos graves. Los desechos que contenían metilmercurio fueron arrojados a un riachuelo y posteriormente ingeridos a través de los pescados. ⁴⁸
- 1961. La FDA descubrió que el pez espada comercial estaba muy contaminado con mercurio y su venta se prohibió por completo. ¹⁰
- 1969. Nuevo México, pequeña epidemia en una familia campesina.
- 1974. Acrodinia “enfermedad rosada, dermatopolineuritis, enfermedad de Feer”; a la cual Fanconi, clasificó como reacción neuroalérgica al mercurio y en la que existe estrecha relación con la presencia de mercurio y en la que existe estrecha relación con la presencia de mercurio, pero no es una verdadera intoxicación por sobredosis del metal, sino que parece deberse más a fenómenos de hipersensibilidad. ⁵
- 1972. Irak; en el otoño de 1971, este país importó grandes cantidades de cereales (trigo y cebada) tratados con metilmercurio, y distribuyó el grano para la siembra de primavera. A pesar de las advertencias oficiales, se molió el grano para obtener harina y hacer pan. En consecuencia, 6 530 víctimas fueron hospitalizadas y 500 fallecieron. ²⁰
- 1977. En la Bahía de Cartagena se encontraron concentraciones en ostras de 6.83 ppm.





4 . 1. “Estado actual sobre la exposición alimentaria al mercurio durante el embarazo y la infancia, y recomendaciones en salud pública.”

Plinio describió la intoxicación como la enfermedad de los esclavos y recomendaba a los ciudadanos romanos no trabajar en las minas de Almadén por sus vapores nocivos. En la actualidad la exposición mayoritaria se debe a los compuestos orgánicos de mercurio, en particular al metilmercurio y no al elemento metálico como antaño.

El metilmercurio tiene una vida media y una toxicidad mayor, y procede sobre



todo de la dieta (principalmente del pescado). El posible impacto de las amalgamas dentales y el uso en las vacunas es mucho menor. El mercurio que llega a los pescados tiene en parte (alrededor de un tercio) un origen natural, si bien las emisiones de las incineradoras y plantas de tratamiento de residuos, industria electroquímica y de generación de energía representan las

fuentes principales. En 1956, en la Bahía de Minamata (Japón); fue el primer inicio de neurotoxicidad de mercurio en poblaciones no expuestas en el ámbito laboral. De hecho la experiencia de Minamata demostró que las madres y los hermanos de los afectados no presentaban afectación, y que los efectos adversos aparecían cuando la exposición tenía lugar durante la etapa prenatal.²¹ En 1986, en un estudio en general de Nueva Zelanda se observó que los niños de 6-7 años, hijos de mujeres expuestas a niveles más altos de mercurio durante el embarazo ($> 6\mu\text{g/g}$ medido en pelo materno), presentaban un menor desarrollo neurológico funcional.²⁶

Es importante destacar que la ingestión de pescado durante el embarazo supone un aporte de ácidos grasos poliinsaturados y oligoelementos fundamentales para el neurodesarrollo. ⁸

- Recomendaciones, se centran en el consumo del pescado e incluyen, además de las mujeres embarazadas, aquellas que tienen intención de estarlo o de las que están amamantando, se incluyen también a los niños en las primeras etapas de la infancia. En términos generales, se recomienda no consumir las especies que presentan contenidos altos de mercurio, como son el pez espada, tiburón, la lamprea y el atún rojo. <<No abusar de los pescados grandes que se alimentan de otros peces>>. ⁴²

4 . 2. “Síndrome de Alicia en el País de las Maravillas.”

El término AIWS se ha aplicado a la percepción subjetiva somatosensoriales, alteraciones asociadas con la epilepsia, dolores de cabeza por migraña, intoxicaciones y enfermedades infecciosas. Todd acuñó el término en 1955.

En la época victoriana, sombreros a menudo eran considerados “locos”, porque habían sufrido encefalopatía causada por la absorción de **mercurio elemental** en varias ocasiones en su Sistema Nervioso Central. Sombreros de esta época se



pusieron rígidos sombreros de fieltro con mercurio; cocer al vapor los sombreros para adaptarse a la cabeza del usuario causó la evaporación de mercurio. En 1938, Neal y Jones examinaron sombreros expuestos a vapores de mercurio y reportaron cambios de comportamiento, temblores, y exagerados reflejos.



El mercurio elemental se absorbe a través de los pulmones y en las manos, pasando al flujo sanguíneo. El mercurio sale de la sangre fácilmente y se localiza en el cerebro, el riñón y el hígado. El mercurio se une e inactiva compuestos con grupos **sulfihídricos (-SH)**. Además, **flavoproteínas** en las **mitocondrias** se inactivan por el mercurio y no pueden extraer los electrones de transporte para producir ATP a partir de ADP. Por lo tanto, estas mitocondrias son envenenadas y sus neuronas se someten a la **apoptosis** (muerte celular programada). Cambios de humor, depresión, irritabilidad, temblor, ataxia y cambios en la personalidad se producen con la exposición crónica al mercurio. ¹⁴

CAPÍTULO 5

“MERCURIO EN ODONTOLOGÍA.”

5. Amalgama.

Es una aleación que contiene mercurio, como uno de sus constituyentes y que se puede mezclar con otros metales sólidos.



El proceso de amalgamación consiste en la liberación de gotitas de mercurio y continúa mientras se condensa mediante presión firme la masa plástica contra las paredes de la preparación. La reacción continúa durante el período de la manipulación dentro de la boca y disminuye al cabo de pocos minutos, tiempo en el cual la amalgama dental aumenta su resistencia y dureza. ²⁷

La aleación de amalgama se constituye de partículas sólidas de Plata, Estaño, Cobre, Zinc, Paladio, Indio y Selenio; estos elementos son agregados para mejorar la manipulación y las propiedades clínicas. ²⁷



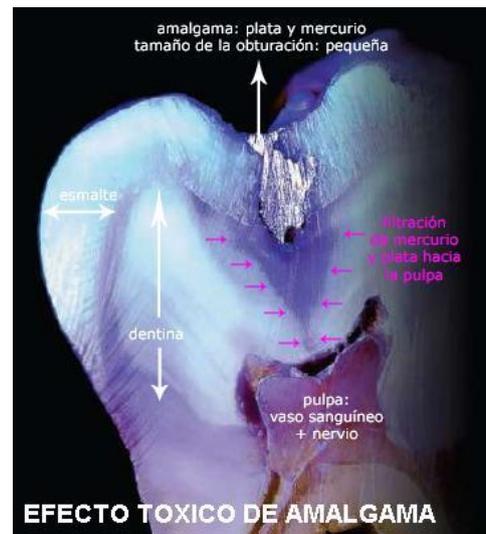
5 . 1. Norma No. 1

La especificación no. 1 de la American National Standards Institute (ANSI) American Dental Association (ADA) exige que las aleaciones para amalgama estén formadas fundamentalmente por plata y estaño.

Las aleaciones que contienen una concentración mayor del 0,01% de zinc deben denominarse *aleaciones con contenido de zinc*; las que lo incluyen de en cantidad igual o menor del 0,01% reciben el nombre de *aleaciones sin contenido de zinc*. No hay ninguna especificación concreta para las aleaciones con un contenido alto o bajo en cobre. ²⁷

5 . 2. “Salud y seguridad en la clínica dental- reglamentos de higiene para uso de mercurio elemental en la protección de los derechos, la seguridad y el bienestar de los pacientes, los trabajadores y el medio ambiente.”

El mercurio elemental se utiliza en muchos procesos industriales y productos manufacturados, incluyendo pero no limitado la fabricación de jabones, detergentes y bombillas fluorescentes, en la producción de ácido sulfúrico, en la extracción de oro, en las pilas, etc. Todas las formas de mercurio metálico o formas elementales tal como se utiliza en



odontología para la fabricación de amalgama de plata; formas orgánicas como existe en el pescado, los plaguicidas y otros productos químicos; y el mercurio inorgánico, a veces de óxido de mercurio utilizados como revestimiento de color rojo para los remedios tradicionales a base de plantas, están presentes en nuestro entorno humano a través de su uso. En consecuencia el mercurio está presente en nuestro entorno humano desde la fabricación hasta la eliminación de residuos y finalmente como residuos en medio de nosotros. ³



- Exposición humana a diferentes formas de mercurio.

Cuando se traga pequeñas cantidades de mercurio metálico, prácticamente ninguno (menos de 0,01%) de mercurio entrará al cuerpo a través del estómago o de los intestinos.

Cuando se respira vapores de mercurio (mercurio elemental), la mayoría (alrededor del 80%) del mercurio entra al torrente sanguíneo directamente desde los pulmones y luego se va rápidamente a otras partes del cuerpo, incluyendo el cerebro y los riñones. Una vez en el cuerpo, el mercurio metálico puede permanecer durante semanas o meses.³



Cuando el mercurio metálico entra en el cerebro, se convierte fácilmente en una forma inorgánica y está “atrapado” en el cerebro durante un largo tiempo.

El mercurio metálico en la sangre de una mujer embarazada puede entrar a su hijo en desarrollo; el mercurio atraviesa la barrera placentaria fácilmente para afectar el feto en desarrollo.

En un reporte de caso de un accidente con cuatro adultos en 1983, entre ellos una mujer embarazada y su recién nacido, reportado que aunque el bebé nació sin anomalías notificables dentro de los 26 días de la exposición accidental a vapor de mercurio, el bebé tenía niveles en sangre de mercurio que fueron comparables a la madre que indica la transferencia directa y libre de metal a través de la barrera placentaria. Este estudio se suma a la evidencia de que la inhalación de vapor de mercurio a través la barrera placentaria y el mercurio se cruza en el feto cuando la madre se expone a vapores de mercurio; asimismo, el mercurio atraviesa la barrera hematoencefálica con facilidad y afecta al feto en desarrollo.³



Consideraciones de higiene para el mercurio usado en odontología para la fabricación de la amalgama dental, que comprende el 50% de **mercurio metálico**, deben tener sin excepciones de aplicaciones industriales similares en cuanto a las regulaciones de salud y seguridad. El mercurio utilizado es idéntico tanto para la odontología y la industria del cloro-alcalina, o en los tubos fluorescentes de fabricación en la industria o las bombillas de alumbrado público de mercurio.³

- Efectos tóxicos del mercurio.

El Sistema Nervioso es muy sensible al mercurio. El daño permanente al cerebro se ha demostrado que se produce por la exposición a niveles suficientemente altos de mercurio metálico.³

La exposición a corto plazo (horas) a altos niveles de vapor de mercurio metálico en el aire pueden dañar el revestimiento de la boca e irritar los pulmones y las vías respiratorias, causando opresión en el aliento, una sensación de ardor en los pulmones y tos.

El daño a la mucosa de la boca y los pulmones también puede ocurrir por la exposición a niveles bajos de mercurio durante períodos más largos. Los niveles de mercurio metálico en el aire del trabajo son por lo general mucho mayores que los niveles habituales de la población general. Los actuales niveles de mercurio en el aire del trabajo son bajos, debido a una mayor conciencia de los efectos tóxicos del mercurio. Una forma de saber si una sustancia química perjudicará a una persona es averiguar cómo la sustancia es absorbida, usada y liberada por el cuerpo.³

La **FDA** ha revisado la mejor evidencia científica disponible para determinar si los bajos niveles de vapor de mercurio asociadas a amalgamas dentales son causa de preocupación. Con base en esta evidencia, la FDA considera que las **amalgamas dentales seguras para adultos y niños de 6 añoso más**. La **cantidad de mercurio** medido en los cuerpos de las personas con empastes de amalgama dental es muy **por debajo de los niveles asociados con efectos adversos para la salud**.



Incluso en adultos y niños mayores de 6 años que tienen quince o más superficies de amalgama, la exposición al mercurio, se ha encontrado que es muy inferior a los niveles más bajos, asociados con el daño. **Las restauraciones de amalgama se consideran seguras para la FDA, en niños de seis años de edad en adelante. Sin embargo, ha habido informes de que comer y masticar libera el mercurio de los empastes.** ⁵⁰



La **Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)**, tiene actualmente un límite de exposición permisible (PEL) de vapor de mercurio que es de **0,1 mg/m³ de aire como límite máximo.** ³

El **Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas** tiene un **Mercury Partnership Global**, cuyos objetivos incluyen la promoción de la elaboración de inventarios nacionales de usos y liberaciones de mercurio; el desarrollo de estrategias para mejorar las actividades de divulgación y comunicación de los riesgos para llegar a las poblaciones en riesgo, incluidas las poblaciones sensibles; aumentar la conciencia pública y la promoción de libres de productos de mercurio y el intercambio de información sobre las mejores técnicas y medidas disponibles para reducir las emisiones de mercurio procedentes de fuentes puntuales, entre otros. ¹⁸

- Eliminación segura de las restauraciones de amalgama.

El nivel medible de mercurio en la sangre y en el plasma se correlaciona con el número de superficies de relleno que son de amalgama en la cavidad oral.



Mayor número de rellenos se correlaciona con una sangre y de plasma más altos niveles de mercurio. Tras la eliminación de 3-48 horas, hubo un aumento en el nivel de mercurio en sangre y plasma. A partir de entonces, se produjo una disminución.⁴⁴



Refrigerante del agua es importante durante la extracción a medida que más vapor de mercurio se libera de las amalgamas cuando la temperatura aumenta.³

Diferentes estudios comparando la longevidad de los empastes de amalgama y materiales compuestos han demostrado que la amalgama dental es el material más tolerante. Roulet informó que la amalgama muestra excelentes datos de longevidad con estudios de hasta 20 años.

En Europa, los gobiernos federales de Noruega, Finlandia, Dinamarca, Suecia han promulgado leyes que requieren que los pacientes dentales reciban el debido proceso de documentación con respecto a la información de consentimiento informado adecuado, proporcionado antes de recibir el tipo de material de restauración dental que será utilizado e implantado.³

- Conclusión.

La FDA ha proporcionado orientación que las amalgamas deberían utilizarse en adultos y niños de seis años en adelante. **El mercurio es altamente tóxico.** Su efecto inmediato de la inhalación es nombrado como apropiadamente “agente que daña el pulmón”. Cuando se encuentra mercurio en la clínica dental, las posibilidades de que dicha exposición esté presente. La única forma de evitar tal ocurrencia es eliminar el uso de tales materiales para aplicaciones en odontología restauradora. La amalgama se ha utilizado como empaste durante unos 150 años y ha servido bien en la odontología. Como el mercurio es ubicuo en el medio ambiente siempre será medible en sangre y orina.³



5 . 3. “Mercurio y Salud en Odontología.”

Los compuestos mercuriales orgánicos son más tóxicos que los vapores de mercurio elemental. **El vapor de mercurio es absorbido en un 80-90% por el tracto respiratorio llegando hasta los alvéolos y penetrando al torrente sanguíneo. Debido a su alta propiedad lipofílica atraviesa la membrana celular de los eritrocitos donde es oxidado ($Hg^{\circ} \rightarrow Hg^{+2}$).** ³⁶

La tasa de oxidación es más lenta que el tiempo de circulación del vapor de mercurio desde los pulmones al cerebro; permitiendo que el mercurio inorgánico no oxidado (Hg°), cruce rápidamente la barrera sangre-cerebro. El mercurio en el cerebro es oxidado, acomplejado y retenido, además aumenta la permeabilidad de la membrana plasmática al calcio lo cual causa neurotoxicidad. ³⁹

La inhalación de vapor de mercurio por un periodo prolongado causa **mercurialismo**, el cual es una enfermedad que se caracteriza por temblores finos y eretismo (timidez, depresión, resentimiento a las críticas, dolores de cabeza, fatiga e insomnio). **Un efecto neuro-comportamental acumulativo**, indican que el proceso de excreción y eliminación del mercurio es muy lento. ³

- Rutas de exposición al mercurio en Odontólogos y asistentes dentales.

El mercurio puede afectar el cuerpo si es inhalado, si tiene contacto con los ojos o piel. Desde la cavidad bucal y nasal llegan vapores de mercurio a la circulación sanguínea y a través de los nervios directamente al cerebro; los vapores de mercurio al ser inhalados penetran a los pulmones por las vías respiratorias, de ahí pasa por el torrente sanguíneo, donde se transforma una parte del vapor de mercurio oxidándose y formando iones de mercurio ($Hg^{\circ} \rightarrow Hg^{+2}$). De esta forma es almacenado en órganos como el hígado y el riñón. ³⁶





El odontólogo al remover las restauraciones viejas, debido al *fresado* a altas velocidades, genera vapor de mercurio el cual puede penetrar al sistema respiratorio, al realizar las preparaciones de amalgamas pueden derramarse pequeñas cantidades de mercurio en la piel o permanecer en el ambiente, del cual se evapora contaminando el área de trabajo. Se han realizado múltiples investigaciones que afirman que el consumo de pescado y el número de amalgamas presentes en la boca están correlacionados con la presencia de mercurio en el cuerpo.

Las restauraciones realizadas con oro no presentaban un efecto detectable sobre el status de mercurio, mientras que las metal-cerámicas aumentaban los niveles de mercurio, debido a que contienen más elementos metálicos activos.³⁶

- Uso del mercurio.
- A más de 150 años, la amalgama es una aleación por mercurio líquido (50%),



plata (35%), cobre (2%), estaño (13%) y algunas veces zinc. Un relleno oclusal típico de un molar humano contiene entre 750-1000 mg de Hg y tiene un tiempo de vida útil de 7-9 años. El mercurio presente en las amalgamas dentales se encuentra en su forma

metálica que es poco tóxica. Sin embargo, este metal se evapora a 25°C presentándose como vapor de mercurio que es muy tóxico.³⁶

-
- Material y métodos.

Se expusieron nueve voluntarios saludables sin restauraciones dentales con amalgamas de mercurio, a vapores de mercurio equivalentes a la tasa de evaporación de mercurio de piezas dentales evaluando diferentes rutas de excreción y se pudo determinar que el 69% del mercurio es retenido y que la excreción depende de características propias de cada individuo.



Durante los primeros tres días entre el 7-12% de la dosis absorbida es excretada por inhalación, el 1% es excretado vía orina; durante el mes se excretó entre el 8-40% de mercurio vía orina.

En países como Japón se ha cambiado la práctica a rellenos dentales de polímeros plásticos desde 1982, en la ex URSS, la amalgama está prohibida desde 1975, y Suecia abandonó el uso de la misma en 1996.

Mandel en 1993 reseña que no existe una relación estadísticamente significativa entre los niveles elevados de mercurio en la orina y la disfunción renal. De igual modo, Market et al; concluyeron que no existen evidencias de que las amalgamas dentales sean las responsables de la disminución de la inmunidad.

Los autores encontraron que las mujeres tenían niveles mayores de mercurio en la orina que los hombres, lo cual se asocia con metabolismos de mercurio diferentes.³⁶

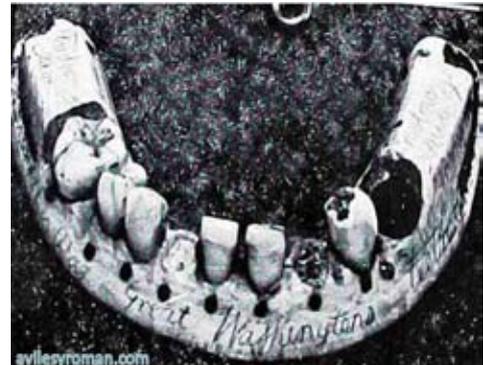
El nivel máximo permisible de mercurio recomendado por el Instituto Nacional de Salud Ocupacional de los Estados Unidos, es de 0,05 g de vapor de mercurio por metro cúbico de aire (50 mg/cm³) para un personal expuesto a 8 horas al día, 5 días a la semana.³⁷





5 . 4. Perspectiva histórica de la Amalgama.

Las restauraciones de amalgama dental aparecen al final del siglo **XVII**. Polvo de bismuto-estaño fue mezclado con mercurio y después colocado en las cavidades en un estado de fundición aproximadamente a 100°C. La cantidad de mercurio fue aumentada para permitir la colocación a temperatura ambiente.



A principios del siglo **XIX** una mezcla de polvo de plata se había usado para remplazar las aleaciones primarias; no fueron restauraciones estables y fueron colocadas típicamente en las cavidades después de poca o no remoción de caries.⁵³

En **1816**, Taveau desarrolló en Francia la que probablemente sea la primera amalgama dental, utilizando monedas de plata mezcladas con mercurio.

En **1833**, los hermanos Crawcour, que emigraron de Francia a E.U.A. introdujeron las amalgamas de Taveu. Sin embargo los alumnos de la Universidad de Odontología de Baltimore optaron por no utilizar amalgamas en las prácticas. La guerra de la amalgama tuvo lugar entre **1840** y **1850**, sobre beneficios y desventajas de las amalgamas. Las investigaciones llevadas a cabo entre **1860** y **1890** sobre la fabricación de la amalgama mejoraron notablemente sus propiedades de manipulación y de aplicación clínica.²⁷

En **1844** apareció la amalgama de cobre, material muy parecido a la amalgama de plata. Las restricciones al uso de la amalgama no tuvieron éxito total. En **1855** Elisha Townsena presentó una amalgama de plata-estaño-mercurio y en **1860** J.F. Flagg propuso otra fórmula.⁷



A finales del siglo **XIX** y comienzos del siglo **XX** Black trazó un estilo de preparación de cavidad y una aleación de amalgama que permitía restauraciones durables. Mientras que las tempranas amalgamas de plata tuvieron contracción durante la cristalización y extrema corrosión, las aleaciones de Black producían amalgamas, las cuales fueron dimensionalmente neutrales en la cristalización y con una relativa resistencia a la corrosión.⁵³

En la Escuela de Odontología de la Universidad de Michigan, M. L. Ward trabaja en el perfeccionamiento de los métodos para medir los cambios dimensionales, la fluidez y otras propiedades de las amalgamas. El desarrollo



de un micrómetro a nivel óptico para la medición de los cambios dimensionales de la amalgama fue uno de los adelantos en los equipos para medir dichos cambios en la amalgama.⁷

En **1909** se publicó la sexta edición del libro de C.J. Essig y Augustus Koenig sobre metalurgia dental; donde se describe la metalurgia de los diversos elementos combinados con las diferentes técnicas de fundición de aleación; en él se incluye un capítulo dedicado a las amalgamas.⁷

En Alemania en **1926**, estalló la “segunda guerra contra la amalgama”, el reconocido profesor de química Dr. Alfred Stock, demostró en varios experimentos que el mercurio sale de los empastes de amalgama y pueden ser acogidos por el cuerpo, presentando síntomas como: fatiga, depresión, irritabilidad, vértigo, amnesia, inflamación bucal, diarrea, entre otras causas de mercurio.⁷

En **1932**, la ADA estandarizó especificaciones de mercurio para garantizar el uso universal apropiado en los empastes de amalgama.



La amalgama fue originalmente mezclada con mortero y pistilo usando un exceso de mercurio, éste fue exprimido en un pedazo de tela. Los amalgamadores no fueron usados sino hasta los años de **1940**. El mezclado de una exacta relación aleación-mercurio fue a comienzo de los años de **1960**, también fue desarrollada una nueva aleación de amalgama, la cual mostró menos corrosión y fractura de margen de las aleaciones previas.

De acuerdo con la revista de la ADA según un estudio realizado por investigadores franceses, sólo se publicaron 41 casos de reacciones alérgicas al mercurio de los empastes, lo cual indica cifras demasiado bajas.

5. 5. Aleación de la amalgama.

Las aleaciones pueden clasificarse como aleaciones con bajo contenido de Cobre (5% o menos) y aleaciones con alto contenido de cobre (13-30%). Las partículas pueden ser:

1. De forma irregular.
2. Microesferas de diversos tamaños.
3. Ambas.

Para que se produzcan las amalgamas dentales, el mercurio se mezcla con el polvo de la aleación de la amalgama. El polvo se puede generar mediante la trituración o el cortado a torno de un lingote colado de la aleación de amalgama. Las partículas del polvo cortadas a torno tienen formas irregulares. De forma alternativa, se puede producir polvo mediante la atomización de la aleación líquida, provocando partículas esféricas.

El polvo también se puede suministrar a modo de comprimido. En este caso las partículas son sometidas a una presión suficiente para que se forme una <<piel>>, alrededor del comprimido superficial, y a la vez, se consiga una ligera cohesión en el interior. Durante la trituración de cualquier aleación de polvo con mercurio, el mercurio disuelve la superficie de las partículas de aleación y se generan fases nuevas.



Estas fases tienen un punto de fusión muy por encima de las temperaturas que pueden darse en el interior de la boca. La transformación de la mezcla mercurio-polvo en una masa plástica compuesta se continúa con el fraguado y endurecido de la amalgama a medida que el mercurio líquido se consume en la formación de las fases sólidas nuevas.⁴⁰

5 . 6. Composición de la aleación.

a) Aleación bajo contenido de cobre:

Las aleaciones de amalgama contienen al menos el **65%** en peso plata, el **29%** en peso de estaño y menos del **6%** en peso de cobre.

b) Aleación convencional:

Están compuestas en un **65%** en peso plata, **29%** peso estaño, Zinc **2%** y mercurio **3%**.

c) Aleación de fase dispersa:

Este tipo de aleación está formada por dos fases:

- 1) 2/3 convencional.
- 2) 1/3 eutéctica (plata **72%**-cobre **23%**).
- d) Aleación de alto contenido en cobre.

Las aleaciones con alto contenido en cobre tienen mejores propiedades mecánicas, sus características de corrosión y mayor integridad marginal. La aleación **plata-estaño** constituye la parte principal de los polvos de muchas aleaciones con alto contenido en cobre.²⁷

Las **aleaciones mezcladas**, debido a que el polvo final de la mezcla es una combinación de por lo menos, dos clases de partículas; es más resistente, debido al aumento de las partículas residuales de aleación y a la consiguiente reducción de la matriz. Las partículas de plata y cobre así como las de Ag-Sn funcionan probablemente como rellenos de refuerzo para la matriz de la amalgama y se evaluó el deterioro marginal.

Del 30 al 55% en peso polvo esférico rico en cobre; se pueden presentar dos fases, una rica en plata y otra abundante en cobre.



Las **aleaciones de composición única**, cada partícula de estos polvos posee la misma composición química. Los elementos más importantes son la plata, el cobre y el estaño. La primera aleación de este tipo tenía un 60% en peso de plata, un 27% en peso de estaño y un 13% en peso de cobre; se encuentran cantidades pequeñas de indio o paladio.²⁷

5 . 7. Clasificación Cronológica.

- Primera generación: Fórmula atribuida a Black; se compone de **plata y estaño**, en relación 3:1.
- Segunda generación: Corresponde a una fórmula cuaternaria, **plata-estaño-cobre y zinc**. Fórmula de Black modificada.
- Tercera generación: Denominada **fase dispersa** y que en ésta se adiciona a la convencional, una fase **eutéctica plata-cobre esférica**. La composición es de 2/3 de fórmula prismática cuaternaria y 1/3 de fase esférica **plata-cobre**.
- Cuarta generación: Fórmula ternaria de **plata-estaño** y alto contenido de cobre en forma esférica.
- Quinta generación: Fórmula **plata-estaño y cobre** adicionada de **indio**.
- Sexta generación: Adición de un metal noble, el **paladio** a los demás componentes, mejora notablemente las propiedades físicas de la amalgama.²³





CAPÍTULO 6

“MERCURIO EN LA AMALGAMA.”

6. Norma No. 6

El mercurio dental debe tener una superficie limpia y reflectante. No debe presentar signos visibles de contaminación superficial, ni contener más de un 0,02% de residuos no volátiles. Se combina fácilmente, formando una amalgama con diferentes metales como el oro, cobre, plata, estaño y zinc; pero no se combina en las condiciones habituales con metales como el níquel, cromo, cobalto, molibdeno y el hierro. El mercurio alcanza su punto de congelación a los $-38.87\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiene una elevada tensión superficial 465 dinas/cm a 20°C debido a esto tienen a formar glóbulos.⁷



6. 1. Proporción mercurio-aleación.

En las técnicas tradicionales de dispensación de mercurio, se empleaban dos técnicas para conseguir la reducción de mercurio en la restauración final. Inicialmente la retirada del exceso de mercurio se lograba exprimiendo o arrugando la mezcla de amalgama en un paño antes de introducir los incrementos de amalgama en la cavidad. Por otro lado, durante la condensación, los incrementos de amalgama se condensaban hacia la superficie de la restauración donde se generaba una amalgama rica en mercurio que se eliminaba a medida que se iba reconstruyendo la restauración final. El método más obvio para disminuir el contenido de mercurio de la restauración consiste en reducir la proporción original mercurio-aleación.⁴⁰



Las aleaciones actuales se han diseñado para ser manipuladas con una proporción baja. Este método se conoce como la **técnica de mercurio** o **técnica de Eames**, en honor al dentista que ideó este concepto.

En la mezcla original tiene que haber mercurio suficiente como para obtener una masa plástica y coherente tras el momento de la trituración.

El contenido de mercurio en la restauración terminada debe compararse con el de la proporción original del mercurio y la aleación, a menudo en el orden del 50%; con aleaciones esféricas se usan cantidades menores (~42%).⁴⁰

6 . 2. Dosificación.

La cantidad de aleación y mercurio que se va a usar se llama proporción mercurio-aleación. Así se denominan a las partes en peso mercurio y aleación que se utilizarán en la técnica en particular.

Independientemente de la relación, la dosificación es crítica en el caso de las aleaciones de mercurio mínimo. Si el contenido de éste es ligeramente bajo, la mezcla quedará seca y granulosa, con una matriz insuficiente para unir de manera cohesiva la masa. El uso de muy poco mercurio altera la resistencia de las amalgamas ricas en cobre tanto como un exceso de mercurio. La resistencia a la corrosión también se reduce.⁴⁰

Como líquido que es, se mide el mercurio por su volumen, lo que no disminuye la exactitud de la medida.



En la actualidad se usan con mucha frecuencia las cápsulas predosificadas contienen cantidad de mercurio y aleación. Incluyen aleación en forma de tabletas, o polvo previamente pesado, con una cantidad apropiada de mercurio.



Para evitar que durante el almacenamiento suceda cualquier amalgamación, el mercurio y la aleación se encuentran separados físicamente. Los tipos más antiguos de cápsulas predosificadas requerían una activación antes de la trituración para permitir que el mercurio penetrara en el compartimiento de la aleación.⁴⁰

En la actualidad se disponen de ciertas *cápsulas de aleación autoactivadas*, que unen de manera automática la aleación y el mercurio durante las primeras oscilaciones del vibrador de amalgama.⁴⁰

6 . 3. Efecto del contenido de Mercurio.

La cantidad de mercurio en la restauración es un factor muy importante en el control de la **resistencia**. Se debe mezclar mercurio suficiente con la aleación a fin de cubrir las partículas de ésta y permitir una amalgamación completa. El mercurio debe mojar cada fragmento de la aleación; de otro modo, el resultado es una mezcla granular seca. Una combinación semejante produce una superficie áspera y con hoyos que favorece la **corrosión**. Cualquier exceso de mercurio dejado en el interior de la restauración puede provocar una reducción considerable de la resistencia.

Para las amalgamas mixtas con bajo o alto contenido en cobre, la resistencia disminuye rápidamente si la cantidad de mercurio aumenta por encima del 54%.

Hay disminuciones similares en la resistencia cuando se observa un incremento en el contenido final del mercurio en amalgamas esféricas ricas en cobre, excepto cuando el contenido crítico de mercurio a partir del que disminuye la resistencia sea menor.

La resistencia de una amalgama está en función de las fracciones volumétricas de las partículas de la aleación sin consumir y de las fases que contienen mercurio. En consecuencia, las amalgamas con cantidades mayores de mercurio final son más débiles.



Las amalgamas ricas en cobre se debilitan en especial por la presencia de una pequeña cantidad de gamma 2, ya que es la fase más débil de la amalgama. ⁴⁰

6 . 4. Mercurio y amalgama.

La controversia que existe sobre la biocompatibilidad de la amalgama ha aumentado y disminuido muchas veces en sus 170 años de historia de uso dental en E.U.A. y radica en lo que se dice toxicidad del mercurio y en el debate sobre si el mercurio de las amalgamas tiene efectos tóxicos.

El mercurio metálico tiene acceso al cuerpo por medio de la piel o de los pulmones por medio del vapor. El intestino prácticamente no absorbe el mercurio metálico ingerido (0,01%), por lo que la inhalación del vapor del mercurio es la vía principal de entrada al cuerpo. ⁴⁰

Numerosos estudios señalan que las amalgamas liberan el vapor suficiente como para provocar una absorción de entre **1 y 3 µg de mercurio al día**, dependiendo del número de amalgamas. El mercurio inhalado pasa al flujo sanguíneo a través de los **alvéolos pulmonares**.

A través de la sangre, el mercurio se distribuye por el cuerpo, preferentemente en los tejidos grasos o nerviosos.

Además el mercurio se puede ingerir mediante el uso de amalgamas, aproximadamente 45 µg/día pueden llegar al intestino en forma de partículas de amalgama, o bien disueltos y liberados en forma de iones de Hg²⁺. La absorción de mercurio iónico también es escasa (aproximadamente entre el 1 y el 7%). **El mercurio contenido en las partículas de amalgama se absorbe incluso menos.** El metilmercurio no procede de las amalgamas, sino que obtenerse a partir de bacterias u otros sistemas biológicos que actúan sobre el mercurio metálico. El metilmercurio es la forma más tóxica de mercurio y el **90-95%** es absorbido fácilmente por el aparato digestivo; la fuente principal de metilmercurio es la dieta. ⁴⁰



Síntomas	cantidad
Neurológicos o renales. Parestesia	A niveles $\geq 500\mu\text{g}/\text{kg}$
Ataxia	$\geq 1.000 \mu\text{g}/\text{kg}$
Dolor en articulaciones	$\geq 2.000 \mu\text{g}/\text{kg}$
Muerte	$\geq 4.000 \mu\text{g}/\text{kg}$
Eliminación de creatinina en la orina	$3 \mu\text{g}/\text{g}$

A pesar de que **las amalgamas no liberan mercurio en cantidades ni siquiera próximas a los niveles tóxicos**, la vida media del mercurio en el cuerpo provoca cierta preocupación en los sectores de salud. La vida media es de entre **20 y 90 días**, dependiendo de la forma. El metilmercurio tiene la vida media más larga y las formas inorgánicas tienen la vida media más corta. ⁴⁰

Fuentes de exposición	Niveles
Aire (en $\mu\text{g}/\text{día}$)	0,12 metal 0,04 ion inorgánico 0,03 metilmercurio
Agua	0,05 $\mu\text{g}/\text{día}$
Comida	20 $\mu\text{g}/\text{día}$ ion metálico
Pescado	0,9 $\mu\text{g}/\text{día}$ metal 3,8 $\mu\text{g}/\text{día}$ metilmercurio
Amalgama	1 y 3 $\mu\text{g}/\text{día}$ de vapor de metal



Las cantidades ingeridas varían considerablemente dependiendo de la persona, la dieta, el medio y el estado dental. A pesar de que se ha confirmado la exposición de los humanos a estos niveles bajos de mercurio, los efectos biológicos de estos niveles son insignificantes.

Varios estudios han calculado el número de superficies de amalgama necesarias para que una persona estuviera expuesta a concentraciones de mercurio con un efecto mínimo notable (funcionamiento psicomotor escaso, temblores detectables y disminución de la velocidad de conducción nerviosa). Según los resultados serían necesarias entre 450 y 530 superficies de amalgama para obtener estos niveles. Incluso si se restauraran los 32 dientes con amalgamas, el número total de superficies sería sólo de 192.

Otros estudios han evaluado la función renal de los pacientes a los que se les quitaron las amalgamas simultáneamente (el peor caso). A pesar de los niveles de mercurio altos en la sangre, el plasma y la orina, no se observó ningún daño renal.⁴⁰

No hay datos que demuestren que el mercurio que liberan las amalgamas dentales sea dañino.⁴⁰

7 . 5. “Relación entre los niveles de mercurio en la sangre y la orina; y las quejas de la toxicidad crónica de mercurio de las restauraciones de amalgama.”

En los niños se reportaron niveles de mercurio en orina y que están correlacionados con el número de empastes dentales de amalgama y el tiempo desde la colocación. La liberación de vapor de mercurio de las restauraciones de amalgama se sabe que ocurre, pero la investigación intensiva durante las últimas tres décadas no ha logrado identificar los resultados nocivos para la salud. Esto es probable, debido a que el mercurio liberado de las restauraciones dentales es insuficiente para causar un problema médico.²³



Algunas de las características reportadas de mercurio aguda, envenenamiento, incluyen neurotoxicidad, miocardiopatías, daño renal y la insuficiencia respiratoria debido a la bronquitis y neumonía necrotizante. La amalgama dental ha sido reportada como una posible fuente de nefrotoxicidad.²³

50% de mercurio en el medio ambiente se deriva de fuentes naturales como la erosión de la roca, el 42% de la quema de combustibles fósiles y se estima que un 3-4% de la amalgama dental. El mercurio es una toxina bioacumulativa, un contaminante químico en peces. Una relación significativa entre el consumo de pescado y la concentración de mercurio en la sangre se reportó, pero no se considera que represente un riesgo para la salud humana.

- Método.

Un grupo de 56 pacientes en la Unidad de Medicina Oral en el Hospital de Guy en 2003-04 con la creencia de que sus síntomas o afecciones orales, fueron causados por la toxicidad del mercurio de los empastes de amalgama. Se realizó un estudio retrospectivo de las notas clínicas.

Se realizó Prueba del parche, si se advierten reacciones liquenoides orales o dolor en la boca.²³

Los niveles en sangre y orina de mercurio fueron medidos por el laboratorio de toxicología médica de los Guy and St Thomas "Hospital de NHS Trust, Londres Reino Unido. Sangre y orina venosa se analizaron utilizando un Varian SpectrAA 20 (Varian Ltd, Osford, Reino Unido); los análisis se realizaron por vapor frío de absorción atómica (AA).

Seis voluntarios sanos (tres hombres y tres mujeres, con una media de 45 años de edad) que no habían informado de trastorno médico y que estaban libres de cualquier restauración de amalgama, se utilizaron como controles para el estudio. Análisis de sangre y orina se realizaron en el laboratorio nacional de referencia y el valor para niveles normales tanto en sangre como en orina de mercurio era <50 nmol/L.²³



- Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados utilizando el V9.1 SAS para Windows (SAS Institutos, NC, E.U.A.). Se utilizaron las pruebas t y ANOVA para comparar las diferencias de medias de los niveles de mercurio en sangre y orina entre los grupos (sexo, edad, motivos de la consulta y condiciones médicas). Los números de las amalgamas se clasificaron en tres grupos (0-5, 6-10 y 11 o más).

Treinta y seis pacientes habían consultado previamente otros especialistas con respecto a la toxicidad del mercurio crónica con diversos síntomas percibidos. 20 sujetos habían sido previamente etiquetados de tener toxicidad del mercurio por los profesionales comerciales que utilizan paneles de prueba



no convencionales.

El nivel medio de mercurio en sangre fue de $19,9 \pm 11,8$ (intervalo 0-47) nmol/L y el nivel medio de mercurio orina fue de $17,0 \pm 11,6$ (intervalo 3-53) nmol/L. los valores medios fueron

significativamente menores que el valor normal umbral para sangre/orina de mercurio de 50 nmol/L.²³

- Discusión.

La amalgama dental, un compuesto de mercurio y aleaciones a base de plata, se utiliza ampliamente como un material de restauración dental. La amalgama dental es el resultado final de la mezcla de polvo de aleación compuesta de plata (~70%), estaño (~27%), cobre (~5%) y cinc (<1%) y mercurio líquido que varía entre 40% a 50% en peso; amalgamas de alto contenido de cobre requieren menos mercurio en la mezcla.²³



Durante la colocación y remoción de los empastes de amalgama de los pacientes pueden estar expuestas a cantidades muy pequeñas de vapor de mercurio y partículas. Además, pequeñas cantidades de vapor de mercurio puede filtrarse durante la masticación. Emisión de mercurio elemental en la cavidad oral se informó que se correlaciona con el número de superficies de amalgama (coeficiente de regresión 9,73). Los vapores de mercurio pueden ser inhalados y se pueden transferir a los pulmones a través de la respiración debido a su presencia en el medio ambiente y el metal puede alcanzar el tracto gastro-intestinal a través de la saliva que lleva al mercurio inorgánico disuelto o las partículas desprendidas por la erosión. Eley y Cox y Marckert y Berglund crítica de las consecuencias de la liberación de mercurio de las amalgamas dentales, su acumulación de absorción y excreción por el cuerpo y los efectos nocivos de almacenamiento acumulativo. Sus comentarios llegaron a la conclusión de que es poco probable que estos niveles de fluidos de baja del cuerpo de mercurio reportada en la literatura constituyen un peligro para la salud.¹⁵





CAPÍTULO 7

“RECOMENDACIONES.”

7. “La exposición al vapor de mercurio durante el entrenamiento de estudiantes de Odontología en la remoción de amalgamas.”

El mercurio elemental es componente de la amalgama en un 50%. La manipulación de la amalgama da como resultado la exposición a corto plazo de vapor de mercurio entre los dentistas. Muchos estudios han demostrado que los trabajadores dentales, en promedio, tienen mayores niveles sistémicos de mercurio en sus tejidos y órganos, que los que tienen los grupos de control.⁵¹

Los estudiantes de Odontología en Canadá y muchos otros países, quitan los empastes de amalgama, y comúnmente se realizan sin ninguna medida para reducir o limitar la exposición al mercurio, tales medidas de protección incluyen el uso concomitante de rocío de agua y/o de alto volumen de aspiración durante la perforación. El aerosol de agua y la succión se utilizan generalmente en el ámbito clínico para evitar daños a la pulpa dental y el nervio de calor generado por la perforación de alta velocidad.

La OMS ha declarado que *“los estudios sugieren que el mercurio puede tener un umbral por debajo del cual algunos efectos adversos no se producen”*.⁵⁴

El Código del Trabajo de Canadá y todos los Códigos provinciales han adoptado o que se hace referencia específicamente e los límites de exposición ocupacional para el vapor de mercurio se define como un valor umbral (TLV) de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH). El promedio de TLV de vapor de mercurio, según lo prescrito por la ACGIH, es de **25,0 mg/m³ durante un período de 8 horas**. La ACGIH, Alberta salud y Seguridad Ocupacional, y la mayoría de otras provincias también prescriben un límite máximo de techo de 5 veces el TLV (125 mg/m³).⁵¹



- Métodos.

Los tres autores son estudiantes de Odontología de la Universidad de Alberta, se llevó a cabo en un laboratorio en la escuela de odontología. Un investigador realiza la eliminación de amalgama; el segundo investigador asistido con aspiración de alta presión de agua y así elimina las partículas y el tercer investigador opera un modelo **Jerome 431-X** (analizador de vapor de mercurio).

El Jerome evalúa las condiciones en que el vapor de mercurio puede ser un problema, y es capaz de leer con precisión los niveles alrededor de los establecidos por Alberta Salud y Seguridad Ocupacional. Todos los investigadores fueron equipados con guantes Ansell Micro-Touch sin polvo de látex y una máscara oído-lazo desechable (3M ESPE, Loop Ear Face Mask, 2000F). Se realizó en un simulador de mandíbula dental, utilizando una pieza de mano de alta velocidad equipado con una fresa #556. La restauración estándar molar, superficie oclusal y proximal; usando Dispersalloy amalgama (50% mercurio, 34.65% de plata, 8.95% de estaño, 5.9% de cobre y 0.5% de zinc). Estos rellenos contienen un estimado de 200 mg a 600 mg de mercurio. Los empastes de amalgama se colocaron en los dientes del simulador de mandíbula, siguiendo técnicas aceptadas, al menos un año antes de este estudio. La distancia de 38 cm se determinó de la faz del operador al lugar de la operación.

Se realizaron un total de 75 lecturas de vapor de mercurio. Veinticinco mediciones se llevaron a cabo en cada una de estas tres condiciones:

- a) Con pulverización por agua y gran volumen de aspiración.
- b) Sólo aspiración, sin rocío de agua.
- c) Sin rocío de agua ni aspiración.



- Resultado y discusión.

La mayor concentración media de vapor de mercurio se registró cuando no se utilizó succión o rociado de agua durante la eliminación de la amalgama. Adición de los niveles de vapor de mercurio promedio de succión de baja. Sin embargo, se midieron los niveles más bajos de vapor de mercurio cuando se utilizan ambos, aspiración y rocío de agua. En todos los casos de la medición, las concentraciones de vapor de mercurio fueron mayores que el límite de detección ($> 3\text{g/m}^3$) del analizador Jerome.⁵¹

7.1. Alimentarias.

Se centran en el consumo del pescado, durante el embarazo, aquellas mujeres que tienen intención de estarlo o que se encuentren amamantando. También en los niños que se encuentran en las primeras etapas de la infancia, que va desde los 3 años hasta los 12 años.

Se recomienda no consumir las especies que presenten contenidos altos de mercurio, como son el pez espada, el tiburón, la lamprea y el atún rojo, y en caso de hacerlo restringir su consumo a una ración semanal/quincenal, evitando a su vez el consumo de otros tipos de pescado en ese período. El consumo de lata no se desaconseja, pero se restringe en buena parte de las recomendaciones.

NO ABUSAR DE LOS PESCADOS GRANDES, QUE SE ALIMENTAN DE OTROS PECES.⁴²

7.2. En el consultorio.

Se recomienda la aplicación de medidas de control de riesgo en cuanto al mercurio. Utilización de las barreras protectoras, como los son guantes de látex o de nitrilo, cubre bocas (intercambiando entre cada paciente); lentes de protección, gorro y bata (de ser posible desechables).



El nivel máximo permisible de mercurio recomendado por el Instituto Nacional de Salud Ocupacional de E.U.A. es de 0,05 g de vapor de mercurio por m³ de aire; para un personal expuesto 8 horas al día, 5 días a la semana. ³⁷

En caso de derrames accidentales, el mercurio deberá ser recogido con jeringas y colocados dentro de recipientes con agua; para evitar que algún remanente permanezca en la superficie, ésta debe limpiarse con azufre en polvo, luego barrer y disponer el resto de acuerdo con las normas establecidas para cada país. ³⁶

No se deben utilizar alfombras ni tapates en el área de tratamiento, ya que se ha demuestra que la fricción por el tránsito en la oficina dental sobre las partículas de amalgama o de pequeños derrames de mercurio aumentan los niveles de vapor de mercurio en el consultorio. Y además, se convierten en esponjas que acumulan el metal. ⁵

Los pisos no deben ser de madera, ni de mosaicos muy pequeños y oscuros, ya que no serían perceptibles los residuos de mercurio y/o amalgama. ³⁶



La National Institute Occupational Security Health, ha generado las siguientes normas para disminuir el riesgo de exposición al mercurio:

- Almacenar los reactivos en contenedores sellados.
- Lavarse las manos antes de comer.
- Evitar el contacto de los reactivos con la piel.
- El trabajador deberá conocer el riesgo potencial de los reactivos en su lugar de trabajo. Participar activamente en cursos, entrenamientos, acerca de seguridad e higiene en el trabajo.



- Prevenir la contaminación en el hogar, cambiarse la ropa contaminada y lavarse con agua y jabón.
- Se deben realizar estudios periódicos que midan concentraciones del mercurio en el aire y verificar que sea menor a 50mg/cm³.
- Realizarse análisis que determinen los niveles de mercurio en sangre y orina, evaluando que los valores sean menores a 35 mg/g de creatinina en muestras de orina y 15 µg/L de sangre. ³⁶

Los residuos deben conservarse en recipientes cerrados y con una capa de hiposulfito de sodio (fijador de fotografías y/o radiografías), con el fin de impedir la liberación de vapores.

Se debe realizar la descontaminación periódica de las áreas, con “flor de azufre” con el fin de formar compuestos que impidan la evaporación de los restos que hayan escapado a las precauciones de manejo. ⁵

Ventilación y Temperatura. Estos factores disminuyen la concentración del metal en el ambiente de trabajo.

Amalgamadores. Deben ser adecuados y seguros para no ocasionar derrames de metal, y de no ser posible esto, las amalgamas dentales se preparen en áreas alejadas del sitio de trabajo, donde se evite la contaminación del personal. ⁵



CONCLUSIONES

El mercurio es un elemento químico natural, posee características especiales; su estado líquido que se presenta a temperatura ambiente, lo ha convertido en un componente importante en: instrumentos de medición, en la industria química, médica, eléctrica y minera; así como compuesto en fungicidas y como elemento principal en la aleación para amalgama dental.

En base a la revisión bibliográfica, puedo determinar que a partir de la interacción del Mercurio con el organismo del ser humano, tendrá alguna reacción; presentándose a corto o a largo plazo.

El efecto y/o reacción que se produce, dependerá de varios factores, entre los cuales, la forma en que el mercurio ingresa al organismo, su distribución e incluso su almacenamiento dentro de él; lo que determinará el tipo de daño.

Siendo los daños a nivel del SNC, ocasionando problemas de desarrollo e incluso mutaciones genéticas los de mayor incidencia; cuando la intoxicación es menor, sólo se presentarán algunos síntomas como: depresión, debilidad, fatiga y muy específicamente temblores. El daño renal es consecuente de la acumulación y almacenamiento de mercurio. Otros órganos que se pueden ver afectados, son los pulmones, debido a la inhalación de vapores. El hígado por la producción de enzimas que serán inactivadas por los compuestos mercuriales. El corazón y el Aparato digestivo, con síntomas de vómito, mareo, náusea y pirosis.

La dosis, duración y el momento de la exposición, serán los factores importantes que justifican el tiempo en que se origine la reacción en el organismo. La población más susceptible son los niños y las mujeres embarazadas. No siendo menos importante; la población adulta que por sus actividades ocupacionales, presentarán una respuesta. En algunas personas, el grado de toxicidad se ve reflejado por un eccema alérgico al mercurio, siendo reversible cuando se elimina la fuente de exposición.



A pesar de que se está llevando a cabo una propuesta para la discontinuidad del mercurio, por los efectos que repercuten también en la naturaleza; el hombre no puede discernir de este elemento. Por lo que se han generado propuestas a nivel mundial, para lograr un equilibrio.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

1. Ballatori N. "Glutathione mercaptides as transport forms of metals". *Adv. Pharmacol.* 27 (1994) 271-298.
2. Chang. "Química", 7ª ed. Ed. Mc Graw Hill, 2002.
3. Chunhan Ngim, Allister Daquan. "Health and safety in the dental clinic- Hygiene regulations for use elemental mercury in the protection of rights, safety and well-being of the patients, workes and the environment". *Singapore Dental Journal* 34 (2013) 19-24.
4. Clarkson T.W. "The three modern faces of mercury". *Environ. Health Perspect.* 110 (2002) 11-23.
5. Córdoba D., Cuesta de Franco. "Toxicología", 4ª ed. Ed. Manual Moderno; Bogota, Colombia, 2001.
6. Crumps K.S., Kjellstrom T, Shipp AM, et al. "Influence of prenatal mercury exposure upon scholastic and psychological test performance: benchmark analysis of New Zeland cohort." *Risk Analysis.* 1998; 18:701-13.
7. Craig R.G. "Restorative Dental Meterials." 10ª ed. Ed. Harcourt Brace; España, 1998. 209-243.
8. Daniels J.L. Longnecker MP, Rowland AS, et al. "Fish intake during pregnancy and early cognitive developement of offspring." *Epidemiology.* 2004; 15: 394-402.
9. Darvell B.W. "Materials Science fon Denistry", 9ª ed. Ed. CRC Press, 2009.
10. Dickson T.R. "Química, enfoque ecológico". Ed. Limusa, 2005.
11. Dórea J.G. "Integrating experimental (in vitro and in vivo) neurotoxicity studies of low-dose thimerosal relevant to vaccines". *Neurochem Res* 2011; 36 (6): 927-38.
12. Dórea JG. "Making scence of epidemiological studies of Young children exposed to thimerosal in vaccines". *Chim Acta* 2010; 411: 1580-6.
13. Ebinghaus R. "Mercury Contaminated Sites". Ed. Springer; Germany, Berlín, 1999.
14. Edward J. Fine. "The Alice in Wonderland Syndrome." University Neurology Sevice and The Jacobs Neurological Institute, Departament of Neurology; Buffalo, NY, USA.
15. Eyeson J. I. House, Y.H. Yang, S. Warnakulasuriya. "Relationship between mercury levels in blood and urine and complaints of chronic mercury toxicity from amalgam restorations." *British Dental Journal,* 2010; 208: E7.



16. Gaoli M., Amoedo D., González D. "Impacto del mercurio sobre la salud humana y el medio ambiente". Arch Argent Pediatr, 2012; 110 (3): 259-264.
17. GER, 1ed. Ed. Rialp, Madrid, 1979.
18. Global Mercury Project. Homepage.
19. Goldstein A. "Farmacología", 2da ed. Ed. Limusa; Stanford California, 1978.
20. Goodman y Gilman. "Las bases Farmacológicas de la Terapéutica", 10ª ed. Ed. Mc Graw Hill; Vol. II, 2003.
21. Goyer R. "Toxic effects of metal." En: Klasen C, Amdur M, Doull J. (eds). Casarett and Doulls. Toxicology: the basic science of poisons; 5ed. Ed. Mc Graw Hill; NY. 1996, p.p. 709-712.
22. Gundacker C, Gencik M, Hengstschläger. "The relevance of the individual genetic background for the toxicokinetics of significant neurodevelopmental toxicant: Mercury." Mutation Research 705 (2010) 130-140.
23. Guzmán B.H.J. "Biomateriales Odontológicos de uso clínico." 3ª ed. Ed. Ecoe; 87-102.
24. Harada M, Akagi H, Tsuda T, et al. "Methylmercury level in umbilical cords from patients with congenital Minamata disease". Sci Total Environ. 1999; 234: 59-62.
25. James P.K. Rooney. "The retention time of inorganic mercury in the brain- A systematic review of the evidence."
26. Jokstad A. "Mercury excretion and occupational exposure of dental personnel." Community Dent. Oral Epidemiol. 18: 143-148, 1990.
27. Kenneth J. Anunsavice. Phillips. "Ciencia de los Materiales Dentales", 11ª ed. Ed. El Servier, España, 2004.
28. Langworth S, Sällsten G, Barregard L. et al. "Exposure to mercury vapor and impact on health in the dental profession in Sweden." J. Dent. Res. 76 (7): 1397-1404, 1997.
29. Lehninger A. "Bioquímica". España. Ed. Omega, S.A., 1993.
30. Leyva E., Gaytán L.A., "Patología general e Inmunología." 1ª ed. Ed. Trillas; México, 2008.
31. Mainlad. Diccionario Enciclopédico. Ed. Olimpo; Vol. VII; España, 1993.
32. Mandel I. "Occupational risks in Dentistry: Comforts and concerns." JADA 124: 41-49, 1993.
33. Mason R.P. and GR Shwe. "Global Biogeochem, cycles." 2002, 16, 1093.
34. Michael N. Bates. "Mercury amalgam dental fillings: An epidemiologic assesment". Int. J. Hyg. Environ-Health 209 (2006) 309-316.



35. Montoya Miguel A. "Intoxicaciones y envenenamientos". Ed. Intersistemas, México, 2002.
36. Morales Fuentes I, Reyes Gil R. "Mercury and health in the dental practice." Departamento de Biología de Organismos, División de Ciencias Biológicas; Universidad Simón Bolívar, Rev. Saúde Pública, 2003, 37 (2): 266-72.
37. National Institute Occupational Security Health. Washington (DC), 1999.
38. Ngim C., Foo S., Boger K., et al. "Chronic neurobehavioural effects of elemental mercury in dentists." Br. J. Ind. Med. 49: 782-790, 1992.
39. Peraza M, Ayala-Fierro F, Barber DS, Casarez E, Rael LT. "Effects of micronutrients on metal toxicity." Environ Health Perspect, 1998; 106: 203-16.
40. Phillips. "Ciencia de los Materiales Dentales", 11ª ed. Ed. El Servier; Madrid, España.
41. Rojas M., Guevara H., Rincón R., Rodríguez M., Olivet C. "Exposición ocupacional a la salud del mercurio metálico entre odontólogos y asistentes dentales: un estudio preliminar." Acta científica Venezolana; 51: 32-38, 2000.
42. Sabrina Llop., Jesús Ibarlucea, Sunyer J. " Estado actual sobre la exposición alimentaria al mercurio durante el embarazo y la infancia, y recomendaciones en salud pública". Gac Sanit. 2013; 27 (3): 273-278
43. Sandborgh E.G, Elinder CG, Johanson G, Lind B, Skare I, Ekstrand J. "The absorption, blood levels, and excretion of mercury after a single dose of mercury vapor in humans." Toxicol Appl Pharmacol; 1998; 150: 146-53.
44. Sandborg E.G, Elinder S, Langworth, A Schütz. "Mercury in biological fluids after amalgam removal." J. Dental Res. 77 (4) (1998) 615-624.
45. Sellin N.E. "Science and strategies to reduce mercury risks a critical review." Journal of Environmental monitoring. 2011, 13, 2389.
46. Sellin N.E. DJ Jacob, RM Yantosca, S Strode, L Jeaglé and EM Sunderland. "Global Biogeochem, Cycles." 2008, 22 GB 2011.
47. Theodore L. Brow. "Química, la Ciencia Central." 11ª ed. Ed. Pearson; México, 2009.
48. Valderas J.J. Mejías P. M., "Intoxicación familiar por mercurio elemental, Caso clínico". Rev. Chile Pediatría, 2013; 84 (1):72-79.
49. Van Noort Richard. "Introduction to Dental Materials", 4ª ed. Ed. Mosby El Servier, 2013.
50. Vimy M.J., FL Lorscheinder. "Intra-oral air mercury relased from dental amalgam." J. Dent. Res. 64 (1985) 1069-1071.



-
51. Warwick R, O'Connor, Lamey B. "Mercury vapour exposure during dental student training in amalgam removal." BioMed Central. 2013.
 52. Whittenk. "Química", 8ª ed. Ed. Cengage Learning, 2008.
 53. W. Brackett D.D. "Amalgama dental, revisión de la literatura y estado actual." Rev. ADM; Vol. 56, no. 3 (2002). 113-117.
 54. World Health Organization: "Mercury in Health Care." http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/mercurypolpa per
 55. Yarto RM, Gavilan GA, Castro DJ. "La contaminación por mercurio en México".