

II. GENERALIDADES

EL MERCURIO EN LA NATURALEZA

Análisis del contenido de mercurio en los meteoritos dan valores del orden de unas 100 veces superiores a los de la corteza terrestre. Como los meteoritos tienen una composición parecida a la de las capas más internas de la Tierra, esto nos indica que el mercurio debe estar concentrado en su interior. Algunos investigadores sugieren que el mercurio de los yacimientos más importantes, tales como Almadén, proviene del manto superior, a varias decenas e incluso centenas de kilómetros de profundidad.

Por tanto, el mercurio terrestre tiene un origen magmático, emanando como un producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas, proceso que continúa en la actualidad. De este modo, el mercurio inicia su ciclo geoquímico pasando a la corteza terrestre y de esta al aire, al agua y suelos, para pasar posteriormente a las plantas y a los animales y por último, al hombre. Posteriormente el mercurio y sus compuestos reinician el ciclo en sentido inverso, en formas: sólidas, disueltas, absorbidas, gaseosa. Esto último se explica porque este metal posee algunas propiedades únicas que le permiten tener una gran y fácil movilidad en diferentes medios físicos y químicos. El mercurio se encuentra principalmente en la Naturaleza como cinabrio rojo (HgS) y también como metacinabrio negro (sulfuro

mixto). Estos dos sulfuros de mercurio pueden encontrarse en cantidades apreciables en yacimientos de otros sulfuros como piritas (sulfuro de hierro), rejalgar (sulfuro de arsénico), estilbina (sulfuro de antimonio) y otros sulfuros de zinc, cobre y plomo. ⁽⁵⁾

2.1.- PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DEL MERCURIO

El mercurio es un metal brillante color plata, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido: su temperatura de fusión es de $-38,9^{\circ}\text{C}$ y su temperatura de ebullición es $357,3^{\circ}\text{C}$. Su peso específico es $13,6\text{ g/cm}^3$ (0°C). Mercurio metálico debido a su alta presión de vapor ($163 \times 10^{-3}\text{ Pa}^3$), evapora fácilmente a temperatura ambiental: a 20°C su concentración en el aire puede alcanzar hasta $0,014\text{ g/m}^3$, y a 100°C hasta $2,4\text{ g/m}^3$. Generalmente se habla de vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida.

Un gran número de metales, y mayormente oro y plata, forman aleaciones con el mercurio metálico, que se denominan amalgamas. Esta propiedad lo hace atractivo para la recuperación de oro en la pequeña minería aurífera.

La solubilidad del mercurio en agua depende fuertemente de la temperatura: ⁽²⁷⁾

³ Unidades Pascal

60 mg/l	(20°C)
250 mg/l	(50°C)
1100 mg/l	(90°C).

La liposolubilidad (en aceite y grasas) oscila entre 5 y 50 mg/l

2.1.1.- Compuestos inorgánicos de mercurio

El mercurio metálico se disuelve fácilmente en ácido nítrico, y agua regia; en menor grado y solamente a temperaturas elevadas en ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, formando sales de mercurio. El mercurio, además de mercurio metálico Hg^0 , puede existir en forma de iones Hg^{1+} y Hg^{2+} .

Los compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

Sulfuros:	HgS
Óxidos:	HgO
Compuestos con halógenos:	Hg_2Cl_2 , $HgCl_2$, HgF_2 , $HgBr_2$, etc.
Cianuros y thiocianatos	$Hg(SCN)_2$, etc.
Nitratos, sulfatos:	$Hg_2(NO_3)_2$, Hg_2SO_4 , $HgSO_4$, etc.

Varios de los compuestos inorgánicos son químicamente inestables, y por lo tanto constituyen una fase intermedia en la formación de compuestos orgánicos.

2.2.- PRESENCIA DE MERCURIO EN DIFERENTES MEDIOS

Las fuentes principales utilizadas proceden de publicaciones del Grupo de Expertos-Mercurio, perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS).⁽¹⁹⁾

2.2.1.- Aire

La concentración de mercurio en aire varía mucho de unas zonas a otras, según sean rurales o urbanas, estén en las proximidades de puntos de emisión concentrada y que estas sean naturales o antropogénicas; pero salvo casos excepcionales, no superan los 50 nanogramos/m³. En el supuesto normal de que la ventilación diaria en una persona media es de 20 m³ y de que el 80% del mercurio inhalado se retiene, la ingesta por vía respiratoria sería de 1 microgramo / día.

No existe unanimidad en cuanto al umbral medio de toxicidad en el ser humano en general, no obstante haciendo extrapolaciones de los datos recabados en exposiciones ocupacionales hay autores que obtienen un valor de 50 microgramos / día como umbral de toxicidad. Otras fuentes sitúan este umbral en 160 microgramos / día.⁽¹²⁾

2.2.2.- Agua

En aguas que están situadas en áreas no influenciadas por la industrialización o por mineralizaciones de mercurio, la concentración media es de 50 nanogramos/litro. En regiones próximas a minas de mercurio e industrializadas, se reportan valores entre 400 y 700 nanogramos/litro. En la bahía de Minamata (Japón), coincidiendo con la intoxicación masiva que allí se produjo, se comunicaron valores entre 1.600 - 3.600 nanogramos/litro. El límite máximo recomendado de mercurio en agua potable es de 1 microgramo / litro (OMS) que permite ingestiones de hasta 2 microgramos / día. (ver anexo N°4) ⁽⁰²⁴⁾

2.2.3.- Piel y Mucosas

Otra posible vía de aporte de mercurio al ser humano es el contacto ocasional y la ingestión accidental de este metal. La absorción de mercurio a través de la piel y mucosas es tan pequeña que no se dispone de cifras cuantitativas. No obstante, se ha comprobado que la absorción de mercurio a través del tracto intestinal es inferior al 0,01%. Por tanto en estas situaciones los riesgos son mínimos.

2.2.4.- Presencia de Mercurio en alimentos

La ingesta media de mercurio a través de los alimentos se estima por el Comité Mixto FAO/OMS, inferior a los 20 microgramos / día principalmente en forma de

metilmercurio (compuesto orgánico de mercurio). El propio Comité estima que no hay riesgo para la salud humana por esta ingesta.

El contenido de mercurio en los alimentos (ver anexo), con exclusión del pescado, oscila entre 3 y 20 microgramos/Kg. y en muy raras ocasiones supera los 60 microgramos/Kg. En los peces de agua dulce se citan valores entre 200-1.000 microgramos/Kg con la mayor parte de los valores entre 200-400 microgramos/Kg. En los peces oceánicos los valores se sitúan entre 0-500 microgramos/Kg. con la mayoría de los valores en torno a los 150 microgramos/Kg. La excepción a esta norma son las especies predatoras (**pez espada, atún, hipogloso**), que presentan valores entre 500 y 1.500 microgramos/Kg.

El mercurio en los peces, predomina en la forma de **metilmercurio** y las variaciones que se observan en cuanto a los contenidos, están condicionadas por la especie ictícola, la ubicación geográfica, la edad, peso, contenido graso y sexo.⁽¹³⁾

Los casos hasta ahora reportados de intoxicaciones en población general, siempre han estado asociadas a usos y manipulaciones del mercurio incorrectas y que han generado exposiciones a dosis tremendamente altas de mercurio (metilmercurio) que en condiciones normales es imposible que se den en la Naturaleza.

El Grupo de Expertos del Mercurio designado por la Organización Mundial de la Salud, en su última publicación en relación al mercurio, afirma: **“El riesgo mayor para la salud humana derivado de la presencia del mercurio en la Naturaleza se centra en la exposición ocupacional a este metal”**.⁴

2.3.- TOXICOLOGÍA DEL MERCURIO

El mercurio es un metal pesado y su presencia en el cuerpo humano resulta tóxica a partir de ciertos niveles críticos que dependen fundamentalmente, de un conocimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta. Asimismo, depende del conocimiento de las variaciones en la exposición, absorción, metabolización y excreción en cualquier situación dada. ^{(15) (8) (2)}

2.3.1 TOXICOCINETICA

2.3.1.1.- ABSORCIÓN

Las vías de ingreso del mercurio al organismo humano son:

2.3.1.1.1.- Vía Respiratoria (absorción por inhalación):

No es frecuente la absorción de los metales en estado de gas o vapor excepto para el caso del mercurio. Los gases altamente solubles en agua se disuelven en la mucosa de la membrana o en el fluido del tracto respiratorio superior, mientras que los gases

⁴ F.H: de Canales, E.L. de Alvarado . OMS.

y vapores menos solubles en agua, penetran más profundamente en el árbol bronquial alcanzando el alvéolo. ⁽¹⁶⁾

Por tanto, se tiene que del 75% al 85% del mercurio elemental entra por vía inhalación a través del pulmón obteniéndose aproximadamente un 80% de retención y un 100% de absorción. Un 7% del mercurio retenido se pierde de nuevo con el aire espirado, con una vida media de 18 horas. El mercurio elemental absorbido abandona rápidamente los pulmones a través del sistema circulatorio. Sin embargo, en los pulmones de los trabajadores expuestos se han encontrado niveles de mercurio elevados. ^{(9) (14) (12)}

Los efectos tóxicos de todas las formas de mercurio inorgánico puede decirse que son debidos al mercurio iónico, puesto que el Hg^0 no forma enlaces químicos.

2.3.1.1.2.- Vía Digestiva (absorción por ingestión)

El Hg^0 se absorbe muy poco en el tracto gastrointestinal, probablemente en cantidades inferiores al 0,01% . Para el Hg^{2+} la vía gastrointestinal si es muy importante, de forma que la intoxicación accidental o intencional por Cl_2Hg (sublimado corrosivo) no ha sido rara a través de la historia. Tras una ingestión elevada se presenta una acción cáustica e irritante por la formación de albuminato soluble que genera una alteración en la permeabilidad del tracto gastrointestinal que favorece la absorción y por tanto la toxicidad. ^{(10) (2)}

2.3.1.1.3.- Vía Cutánea (Absorción por contacto)

Es muy probable que el Hg^0 pueda atravesar la piel, pero no se dispone en la actualidad de cifras cuantitativas. Es dudoso, sin embargo, que esta vía de absorción juegue un papel importante en comparación con otras, es mas, parece probable que penetre más mercurio en el organismo por inhalación a causa de una piel contaminada con mercurio que a través de esta. ⁽⁸⁾

2.3.2.- TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Una vez absorbido, un 50% de mercurio inorgánico es vehiculizado por el plasma, unido a la albúmina. En el caso del vapor de mercurio la relación glóbulos rojos / plasma es entre 1,5 - 2 aproximadamente, estimándose en 2 en los primeros días de la exposición. ⁽¹⁴⁾

La distribución del mercurio en el organismo tiende a alcanzar un estado de equilibrio determinado por los siguientes factores: ⁽¹¹⁾

- a) Dosis
- b) Duración de la exposición
- c) Grado de oxidación del mercurio
- d) Concentración de los compuestos de mercurio en los distintos compartimentos sanguíneos.
- e) Concentración en relación con los grupos sulfhidrilos libres.

- f) Afinidad de los componentes celulares con el mercurio.
- g) Velocidad de asociación y disociación del complejo mercurio-proteína.

El vapor de mercurio presenta afinidad por el cerebro⁵. Se oxida rápidamente a Hg.²⁺ en los eritrocitos o después de la difusión en los tejidos, por acción de la catalasa que descompone el peróxido de hidrogeno (vía primaria de oxidación del vapor de mercurio en eritrocitos y demás tejidos), aunque permanece como Hg⁰ en la sangre durante un tiempo corto pero suficiente para atravesar la barrera hematoencefálica.

El paso a través de las membranas celulares está facilitado por su mayor liposolubilidad y por la ausencia de cargas eléctricas.

El mercurio divalente se deposita en el riñón, siendo su principal sitio de acción las células del epitelio proximal tubular. Concretamente se halla en las fracciones lisosómicas mitocondriales (lisosomas), tanto en hígado como en riñón, unido a la metalotionina, aunque previamente se había estimado que la concentración en los lisosomas renales ocurre en intoxicación crónica y no después de una exposición corta.

⁵ Un estudio de la distribución del mercurio elemental en el sistema nervioso central en ratas y ratones, reveló una mayor concentración de mercurio en la materia gris que en la blanca, con los niveles mas elevados en ciertas neuronas del cerebelo, medula espinal, médula, pedúnculos cerebrales y mesencéfalo. En el cerebro se observó una localización selectiva en las células de Purkinje y en las neuronas del núcleo dentado.

2.4.- MODELO TOXICOCINETICO DE ELIMINACIÓN

La orina y las heces son las rutas preferentes de eliminación para los compuestos inorgánicos, la cinética para el vapor de mercurio presenta dos fases: la primera es dosis dependiente y la segunda, más lenta, parece ser común a distintas dosis. La vida media de excreción urinaria es de 1,3 días para la primera fase y de 36,5 días para la segunda. ⁽²⁾

En el caso de los otros compuestos inorgánicos, la vida media para casi todos es de 40 días.

Considerando el organismo humano en conjunto, correspondiéndose con un modelo monocompartimental abierto, la vida media biológica reportadas para los distintos tipos de mercurio son:

COMPUESTO MERCURIO	VIDA MEDIA BIOLÓGICA ORGANISMO EN CONJUNTO	VIDA MEDIA BIOLÓGICA EN ÓRGANOS Y TEJIDOS
Mercurio inorgánico	Mujeres: 29 a 41 días Media : 37 días	Sangre: 20 a 28 días
	Hombres: 32 a 60 días Media: 48 días	
Mercurio elemental	35 a 90 días Media: 60 días	Pulmón: 1,7 días Riñón: 64 días Cerebro > 1 año

En la deposición renal del mercurio, parecen existir dos mecanismos: por un lado, la filtración glomerular que se cree toma parte cuando el mercurio entra primero en el torrente circulatorio, y por otro lado, puede ocurrir una absorción tubular a partir de la sangre. No hay conclusiones definitivas con respecto al mecanismo exacto por el cual el riñón excreta el mercurio en la orina pero lo que si se admite es que bajo condiciones de estado estacionario la carga de mercurio en el riñón permanece, como media, constante. Por tanto la cantidad de mercurio excretado es igual a la cantidad que entra en el riñón, es decir la mitad de la dosis total absorbida. ⁽¹¹⁾

La excreción de mercurio a través de la saliva, puede ser relativamente importante. Se han reportado valores que suponen $\frac{1}{4}$ de la concentración sanguínea y $\frac{1}{10}$ de la concentración urinaria⁽⁴⁾

La concentración de mercurio en sudor es lo suficientemente elevada como para tenerla en cuenta en el balance global de mercurio en trabajadores expuestos al vapor de mercurio elemental. ⁽⁸⁾

La exhalación de mercurio observada en animales luego de la exposición al vapor elemental, también ha sido confirmada en el hombre. Esta vía de excreción puede representar hasta el 7% de la excreción total de mercurio. ⁽¹⁷⁾

2.5.- EFECTOS TÓXICOS.

2.5.1.- CLÍNICA DE LA INTOXICACIÓN MERCURIAL

En los casos en que se llega a un punto crítico en el balance entrada-eliminación de mercurio, aparecen los efectos tóxicos que se manifiestan de diferentes formas de intoxicación: aguda, subaguda y crónica.

2.5.1.1.- Intoxicación aguda por vapores de Hg

Es muy poco frecuente en el medio industrial, salvo accidentes. Si la vía de penetración es la respiratoria, aparece traqueobronquítis que siempre se acompaña de tos e hipertermia, posteriormente puede aparecer una neumonía difusa con edema intersticial y a veces un neumotorax bilateral. Por inhalación masiva de vapores de mercurio se han descrito algunos casos que cursan con mareos, ceguera súbita , espasmos musculares y temblor.

2.5.1.2.- Intoxicación subaguda

No es frecuente en el medio laboral, no obstante se ha descrito algunos casos con el siguiente cuadro: tos o irritación bronquial, vómitos, diarrea, estomatitis, ulceraciones en mucosa de la boca, eritrodermia mercurial y proteinuria.

2.5.1.3.- Intoxicación Crónica

Es la forma mas frecuente en el medio laboral y constituye el denominado “Hidrargirismo o Mercurialismo”. Dado que el presente trabajo evalúa la exposición

a vapores de mercurio inorgánico nos centraremos en explicar el cuadro por vapor y compuestos inorgánicos:

2.5.1.4.- Mercurio elemental (vapor y compuestos inorgánicos)

Mercurio elemental y compuestos inorgánicos: Habitualmente las causas de exposición al mercurio son los vapores de mercurio o combinaciones variadas de mercurio en estado gaseoso o en polvo. En la mayoría de los casos, la sintomatología de la intoxicación mercurial crónica, relatada en la literatura, no hace distinción entre las formas bajo las cuales el mercurio es inhalado.

La intoxicación se presenta en dos fases claramente delimitadas:⁽¹⁵⁾

2.5.1.4.1.- Fase de absorción o impregnación en la que aparece una sintomatología poco precisa e inespecífica: Anorexia, astenia, pérdida de peso, cefaleas, vértigos, insomnio, dolores y parestesias en miembros inferiores y con menor frecuencia en superiores, masticación dolorosa.

2.5.1.4.2.- Fase de intoxicación propiamente dicha se caracteriza por:

2.5.1.4.2.1.- Alteraciones digestivas: náuseas, vómitos y diarrea. El hallazgo más significativo es la denominada “estomatitis mercurial” cuyo principal síntoma es la

sialorrea, a menudo acompañada de hipertrofia de la glándulas salivares. Posteriormente aparece gingivitis e incluso ulceraciones en la mucosa bucal. Hay caída prematura de los dientes y el paciente experimenta en ocasiones una sensación de alargamiento de los mismos. En las encías puede aparecer un ribete grisáceo-azulado que se diferencia del que aparece en el saturnismo (intoxicación por plomo), por ser más ancho. Los dientes pueden adquirir un color pardusco (diente mercurial de Letuelle) y el paciente nota una sabor metálico constante y molesto acompañado de aliento fétido.

2.5.1.4.2.2.- Alteraciones del Sistema Nervioso: Son las mas importantes, en una primera fase aparecen trastornos psíquicos tales como: irritabilidad, tristeza, ansiedad, insomnio, temor, perdida de memoria, excesiva timidez, debilidad muscular, sueño agitado, susceptibilidad emocional, hiperexcitabilidad o depresión. Todo ello constituye el denominado “Eretismo Mercurial” Estos trastorno pueden aparecer en personas con exposiciones bajas y provienen de perturbaciones de los centros corticales del Sistema Nervioso Central, acompañándose de modificaciones funcionales del aparato cardiovascular, urogenital y sistema endocrino. En ocasiones concurren alteraciones encefalíticas que conducen a un síndrome psico-orgánico definitivo susceptible de evolucionar hacia una demencia e incluso caquexia. ⁽¹⁸⁾ ⁽²⁰⁾

El gran síntoma del hidrargirismo es el temblor. Suele iniciarse en la lengua, labios, párpados y dedos de las manos en forma de temblor fino de mas de 20 oscilaciones / minuto que puede interrumpirse por una extensión brusca de los dedos. Posteriormente se extiende a las manos en forma de temblor rítmico que se interrumpe por contracciones musculares bruscas; también puede aparecer en la cara produciendo tics. Un dato típico es su variabilidad , aparece por ondas y aumenta con la excitación. Tiende a ser intencional, lo que le diferencia del temblor de Parkinson que desaparece con el sueño. ⁽²⁶⁾

2.5.1.4.2.3.- Alteraciones Renales: El efecto nefrotóxico del mercurio elemental y compuestos inorgánicos se manifiesta por daño en el glomérulo y en los túbulos renales.

2.5.1.4.3.- Micromercurialismo: Actualmente y cada vez con mayor frecuencia se observa este cuadro en trabajadores expuestos a niveles bajos de vapores de mercurio. La sintomatología observada es:

- Fasciculaciones con predominio en miembros superiores.
- Sensación de pesadez en miembros inferiores.
- Manifestaciones vegetativas:
 - Transpiración abundante
 - Dermografismo

- Inestabilidad emocional
- Neurosis secretoria estomacal
- Neurosis funcional (histérica , neurasténica)

2.6.- DIAGNOSTICO DE LA INTOXICACIÓN

El diagnóstico clínico no suele presentar dificultades cuando se realiza una correcta anamnesis laboral. En algunos casos puede haber problemas de diagnóstico diferencial con ciertas formas de esclerosis en placas, siendo necesario recurrir a la punción lumbar, que no revelará ninguna alteración en el liquido cefalorraquídeo en el hidrargirismo o mercurialismo, pues el mercurialismo se presenta como una contaminación por deposito y no como una infección viral.

El diagnóstico analítico se basa en la determinación de mercurio excretado por la orina durante 24 horas. Se recomienda la utilización de la técnica de Espectrofotometría de absorción atómica por formación de hidruros en vapor frío. Actualmente existe un criterio casi unánime, en utilizar los contenidos de mercurio en sangre y orina, recolectando una muestra puntual de ambos fluidos en condiciones basales a primera hora de la mañana. Estos deben ser comparados en relación directa entre la concentración de Hg y la función renal reflejada en la depuración de creatinina.

La información que existe en cuanto a contenidos de mercurio en fluidos biológicos es muy amplia y dispar, estableciéndose criterios muy diferentes, según las fuentes que se consulten. Este estudio toma como referencia lo dispuesto por OMS y utilizado por CICOTOX

2.6.1.- VALORES REFERENCIALES

MINIMO	Hasta 40 ug/L de orina de 24 h
MAXIMO	Hasta 90 ug/L de orina de 24 h