

LA POLARIDAD DEL MERCURIO EN LA HISTORIA

Adriana Estefanía Flores-Morán*, Jaqueline García-Hernández y

Juan Pablo Gallo-Reynoso

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Guaymas, Sonora, México.

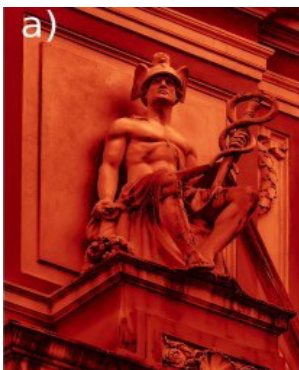
adriana.flores@ciad.mx (AEFM), jaqueline@ciad.mx (JGH), jpgallo@ciad.mx (JPGR)

*Autora de correspondencia

El mercurio es conocido por los efectos nocivos en la salud humana y en otras especies terrestres; sin embargo, el ambiente marino también se ha visto afectado por la presencia de este elemento tóxico, especies centinelas como algunos mamíferos marinos nos permiten monitorear los niveles de mercurio en dicho ambiente.

El mercurio se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y puede encontrarse en distintas concentraciones en el aire y el agua debido a la desgasificación de la corteza terrestre, resultado de la actividad volcánica, la erosión y disolución de los minerales de las rocas, así como por actividades humanas como la minería. Por consiguiente, puede ser parte de compuestos inorgánicos y orgánicos. Los compuestos de mercurio inorgánico se producen cuando el mercurio se combina con elementos como cloro, azufre y oxígeno, a los cuales se les denomina sales de mercurio. Suelen ser menos peligrosos que los compuestos de mercurio orgánico, ya que éstos son más solubles en agua; de hecho, su toxicidad depende de qué tan solubles son. Al combinar mercurio con carbono, los compuestos que se forman se llaman compuestos de mercurio orgánico, que suelen ser muy liposolubles (solubles en lípidos o grasas), por lo que se absorben fácilmente por la piel y el tracto digestivo.

El símbolo químico del mercurio es Hg, que viene del nombre que tenía anteriormente, *Hydrargyrum*, que viene de los vocablos griegos “*hydror*” + “*argyros*”, que significan “agua” y “plata” respectivamente. También era llamado plata líquida (*quicksilver*), debido a su alta movilidad y brillo, que se asemeja a la plata líquida. La rapidez y la movilidad eran las características del dios romano Mercurio, quien servía como mensajero a los demás dioses del Olimpo, así que el nombre actual del elemento es en honor a este dios. También el planeta más cercano al Sol ha sido nombrado así, razón por la cual los alquimistas usaban el símbolo del planeta Mercurio para referirse al elemento.



a) Se muestra a Mercurio, considerado el mensajero de los dioses y dios del comercio. Fotografía: A. Gómez a través de pexels.com. b) Símbolo del planeta Mercurio, el cual fue utilizado para identificar al elemento Mercurio. Imagen de Wikimedia Commons.



Históricamente, el mercurio ha sido utilizado por el humano de diversas formas. En Francia, se pueden observar pinturas rupestres en las cuevas de Lascaux y Chauvet que datan de 14,000 a 36,000 años de antigüedad respectivamente. En donde los principales colores que se usaban eran amarillo, verde, azul, negro y rojo. Para obtener tonos desde el rojo anaranjado brillante hasta el violeta rojizo, se usaba sulfuro de mercurio, comúnmente llamado cinabrio. La extracción del cinabrio se realizaba en una de las minas más grandes del mundo, que se encuentra en Almadén, España. El cinabrio es un mineral que contiene 85 % de mercurio y 15 % de azufre; el cual era molido para convertirlo en un polvo fino, que, mezclado con distintos líquidos y grasas animales, se convertía en varios tipos de pintura.

Los griegos, romanos, chinos, hindúes y mayas conocían muy bien el mercurio, tenían sus propias leyendas sobre este elemento y lo utilizaban en la medicina, como talismán o para honrar a sus líderes muertos en las cámaras funerarias. El mercurio fascinó a los antiguos alquimistas y filósofos principalmente por estar en una fase intermedia entre el líquido y el sólido, así como entre la vida y la muerte, el cielo y el infierno; era uno de los siete metales de la alquimia junto con el oro, plata, cobre, estaño, plomo y hierro. En la medicina tradicional china, tibetana y mongólica, el mercurio ha sido utilizado como tranquilizante, tratamiento para las convulsiones, ungüentos para el crecimiento y regeneración del tejido, antiinflamatorio, analgésico, cicatrizante, para reducir la toxicidad de otros compuestos, tratamiento de la fiebre, reforzador del sistema inmune, tratamiento de la gota, antiparasitario, reumatismo y sarna.

Posteriormente, el mercurio fue utilizado en conjunto con otros elementos como la plata, cobre, estaño y zinc para la elaboración de las amalgamas dentales. En el diseño de los termómetros, el mercurio resultó muy útil debido a su capacidad de expandirse cuando aumenta la temperatura, dando mediciones muy precisas. También fue utilizado en la elaboración de barómetros, baterías, luces de neón, papel, pinturas, joyería, pesticidas, fungicidas, etc.

A pesar de su uso común, el mercurio, tiene efectos nocivos sobre la salud; incluso la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo clasifica entre las diez sustancias químicas más preocupantes para la salud pública. ¿Por qué? Una vez que el mercurio es absorbido, entra a la circulación sanguínea y es distribuido a diversos tejidos. En el cerebro, el mercurio interfiere con la comunicación entre las neuronas, lesiona el tejido de la corteza cerebral que participa en la percepción sensorial, el control motor y el procesamiento del lenguaje. En el hígado y los riñones genera daño celular y altera el funcionamiento normal de dichos órganos. Los niveles de mercurio en humanos aceptados por la OMS son de 1 a 2 mg/kg.

Uno de los mayores desastres ambientales asociados con la contaminación del ecosistema marino con mercurio sucedió en la fábrica Chisso, ubicada en Minamata, Japón, entre los años 1932 y 1968. Ahí se usaba el mercurio como acelerador de reacciones químicas para la producción de acetilaldehído; los desechos de este proceso eran vertidos al mar y, una vez allí, se transformaron en metilmercurio y se diseminaron por toda la bahía. En esta forma, ahora disponible en la cadena trófica, afectó inicialmente a los peces, los gatos y las aves. A los peces se

les encontraba flotando en diversas regiones del mar Shiranui; los gatos del pueblo que se alimentaron de ellos empezaron a caminar de forma errática, presentaron convulsiones, saltaban al mar y después morían ahogados, y las aves que también se alimentaban de los peces contaminados, de repente, sólo caían muertas.

Para 1956, se observaron conductas similares en humanos, y los primeros reportes se realizaron en Minamata, dichos reportes sólo fueron aumentando con una variedad de signos neurológicos permanentes, como la falta de coordinación y sensibilidad en las manos y piernas, pérdida de la visión y de la audición, parálisis cerebral, abortos, nacimientos prematuros, parálisis y muerte, llamando a este conjunto de síntomas la “enfermedad de Minamata”. Años después se lograron correlacionar los síntomas neurológicos observados en las personas, con la alimentación basada en pescado contaminado con mercurio. La pesca se prohibió en la bahía de Minamata; esta prohibición duró hasta el 15 de octubre de 1997, cuando se reabrió la pesca. Hasta el año 2000, algunos estudios, han sugerido que hasta 2 millones de personas podrían haber ingerido suficiente mercurio debido a que presentaron síntomas leves, como dolor de cabeza, pérdida de la audición, y la incapacidad de distinguir el frío del calor. A partir del desastre de Minamata, a través de las Naciones Unidas en 2013 se creó un tratado global, al que se denominó el Convenio de Minamata, del cual México está jurídicamente vinculado desde 2015 y cuyo objetivo es proteger la salud humana y conservar el medio ambiente de las emisiones desmedidas de mercurio asociadas a actividades humanas.

El daño que generó el mercurio en Minamata se debió a que, en los ecosistemas marinos, ciertos microorganismos tienen la capacidad de transformar al mercurio en formas orgánicas, principalmente en metilmercurio, que es altamente tóxico. En este ambiente, el mercurio entra en la cadena trófica a través de las bacterias y el fitoplancton, pasando por los procesos de bioacumulación y biomagnificación. La bioacumulación se refiere al incremento de la concentración de sustancias químicas en los tejidos orgánicos a lo largo de la vida. Mientras que la biomagnificación se refiere a la transferencia de las sustancias químicas a través de la cadena alimentaria, en donde, en las concentraciones de las sustancias químicas aumentan conforme es transferido en la cadena trófica, es decir, los organismos que se encuentran en los niveles tróficos más altos tendrán una concentración más elevada de sustancias químicas en comparación con los organismos productores como las plantas o el plancton que se encuentran en los niveles más bajos de la cadena.

En los ecosistemas marinos, el mercurio se deposita desde la atmósfera, originado principalmente por la quema del carbón mineral que usamos para la producción de energía eléctrica, y las especies marinas pueden ser buenos indicadores (como especies centinelas) del impacto de los contaminantes en el medio ambiente, en la salud de las especies y de los humanos. Algunos mamíferos marinos son considerados especies centinelas del medio ambiente, ya que pertenecen a niveles tróficos altos, generalmente poseen una gruesa capa de grasa, son longevos, y tienen una gran variedad de patrones de distribución en los océanos del mundo, al igual que patrones de movimiento o migraciones que reflejan aspectos de la productividad del océano; es decir, la cantidad de mamíferos marinos es mayor en las zonas más productivas del mar, por ejemplo en zonas de convergencias de corrientes oceánicas o en zonas de surgencias costeras en donde el mar es más fértil.

La exposición al mercurio en los mamíferos marinos es principalmente a través de su hábito alimentario. Las bacterias y el fitoplancton son la principal entrada del mercurio en la cadena alimentaria que se va biomagnificando hasta los niveles más altos en la cadena trófica, como es el caso de los mamíferos y las aves marinas.

Algunas de las especies en las que se han determinado los niveles de mercurio son el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), la tonina o delfín nariz de botella

(*Tursiops truncatus*), el delfín de Risso (*Grampus griseus*), el delfín común (*Delphinus spp.*), la marsopa común (*Phocoena phocoena*), la beluga (*Delphinapterus leucas*), el narval (*Monodon monoceros*), la morsa (*Odobenus rosmarus*), el oso polar (*Ursus maritimus*), el lobo marino de California (*Zalophus californianus*), el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*) y lobo fino del norte (*Callorhinus ursinus*). Las mayores concentraciones de mercurio se han reportado en el delfín listado y en la tonina del mar Mediterráneo como resultado de la actividad industrial del continente europeo, alcanzando valores de 5,374 µg/g. Mientras que las concentraciones más bajas se han reportado en el Ártico en belugas (5-53 µg/g), en narvales (30.8 a 74.8 µg/g), en morsas (< 13.2 µg/g), y en el oso polar (~22-264 µg/g). Aunque no fue posible determinar el impacto de los niveles de mercurio en la salud de los mamíferos marinos, ya que los ejemplares se encontraban varados o muertos, se obtuvo información valiosa sobre la distribución y almacenamiento del mercurio en los mamíferos marinos.

Se encontró, que los mamíferos marinos tienen un mecanismo de desintoxicación que también se encuentra en otros animales y plantas, mediante la unión del mercurio con el selenio (Se), que es un elemento semimetálico que se considera un nutriente, pero a la vez es tóxico a concentraciones altas (> 900 µg/g). Esta unión neutraliza los efectos tóxicos del mercurio formando cristales toxicológicamente insolubles y facilitando la excreción del organismo.

Pero esto no quiere decir que los mamíferos marinos sean inmunes a los efectos tóxicos del mercurio, lo que nos muestra es que tienen un umbral distinto, sin embargo, el mecanismo de desintoxicación también tiene un límite debido a que, a diferencia del mercurio, el selenio es un nutriente esencial que tiene un efecto protector hacia el daño oxidativo en el cerebro y tejido neuroendocrino, y participa en el buen funcionamiento de la tiroides y el sistema inmune. Si bien la unión del mercurio y selenio tiene un efecto protector, por otro lado, podría resultar en una deficiencia del selenio y afectar la salud del individuo.

En México, el Golfo de California es un ecosistema con una alta productividad, biodiversidad y grandes poblaciones de diferentes taxones de organismos marinos y estuarinos, que no están exentos de la contaminación como resultado del desarrollo de actividades económicas como la minería, el uso de termoeléctricas a partir de la quema de combustible, agricultura, pesquería y turismo. Para ejemplificar esto, usaremos al lobo marino de California, especie residente en el Golfo de California. Este lobo marino es un depredador tope que se distribuye a lo largo de las costas e islas dentro del Golfo, y de las cuales 13 de estas islas son colonias reproductivas: Rocas Consag, San Jorge, Lobos, Granito, Los Cantiles y Los Machos (que están en la Isla Ángel de la Guarda), El Partido, El Rasito, San Esteban, San Pedro Mártir, San Pedro Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes. Los nacimientos de crías ocurren una vez al año a finales de mayo y a principios de agosto. Una vez que la cría nace, la hembra se queda con ella para alimentarla y cuidarla durante uno a tres días para después hacer “viajes de alimentación”, en donde las hembras dejan la isla por unos días para irse al mar a alimentarse y después regresan a la colonia para amamantar y cuidar de su cría por un aproximado de dos días antes de volver a hacer otro viaje de alimentación. El destete de las crías se da de forma paulatina y varía entre colonias reproductivas, y se ha encontrado que pueden empezar a comer peces a partir de los tres meses de edad. Por lo general, las crías de lobo marino en México son completamente destetadas a los 12 meses de edad.

Por su posición tope en la cadena trófica, el lobo marino de California está expuesto a varios contaminantes de origen antropogénico, como los contaminantes orgánicos persistentes, los residuos plásticos y los metales tóxicos, como el mercurio. En el caso de las crías, la vía por la cual están expuestas al mercurio, así como a otros metales tóxicos, se da a través de la leche materna, por lo que durante este periodo las crías son indicadores de la exposición al mercurio de las madres. Esto ha sido demostrado con análisis de las

concentraciones de mercurio en el pelo de las crías, que varían entre las diferentes colonias en las islas del Golfo de California. En general, las mayores concentraciones se han detectado en el Alto Golfo de California (9.45 a 14.1 $\mu\text{g/g}$), posiblemente relacionadas con los desechos y descargas de aguas residuales que acarrear los ríos que desembocan en esa región. Aunque valores por encima de estos niveles se han encontrado en Granito (139 $\mu\text{g/g}$) y Los Islotes (23.4 $\mu\text{g/g}$). En algunos estudios sobre el mercurio en los lobos marinos se ha encontrado que conforme aumentan los niveles de mercurio, también aumentan los de selenio, posiblemente asociados al mecanismo de desintoxicación.



En la imagen se muestra en a) el mapa de la distribución de las 13 colonias reproductivas del lobo marino de California dentro del Golfo de California: 1. Rocas Consag, 2. San Jorge, 3. Lobos, 4. Granito, 5. Los Cantiles, 6. Los Machos, 7. El Partido, 8. Rasito, 9. San Esteban, 10. San Pedro Mártir, 11. San Pedro Nolasco, 12. Farallón de San Ignacio, 13. Los Islotes. b) Cría de lobo marino de California amamantando en San Pedro Nolasco. c) Dos hembras adultas y un macho adulto de lobo marino de California en San Pedro Nolasco.

Mapa: Laboratorio de Ecofisiología, CIAD, A.C., Unidad Guaymas.
Fotografías b) y c): I. D. Barba-Acuña.

Si bien, los niveles de mercurio reportados dentro del Golfo de California son menores a los reportados en otros lugares, como el mar Mediterráneo, es importante seguir monitoreando los niveles de mercurio e investigar cuáles son los niveles tolerables para esta especie de pinnípedo y cuáles son algunos signos tempranos de daño en los individuos. El daño a la salud producto de altas concentraciones de mercurio depende de qué tipo de mercurio es al que se ha expuesto, en el ambiente marino el metilmercurio es una de las formas más tóxicas encontradas.

Aunque la humanidad ha tenido una relación muy estrecha con el mercurio en diversas áreas desde hace mucho tiempo, también hemos podido ver cómo la exposición a ciertos tipos de mercurio puede resultar muy nociva para la salud humana y ambiental, como lo ocurrido en el desastre de Minamata, Japón. Especies centinelas como los mamíferos marinos nos pueden mostrar qué cambios hay en el medio ambiente con respecto a los niveles de mercurio, lo cual es de suma importancia para los humanos porque algunos de los peces de los cuales se alimentan los mamíferos marinos son también de consumo humano. Sin embargo, estamos a tiempo de monitorear estas concentraciones y detectar niveles altos que pongan en peligro la salud de los lobos marinos y de los seres humanos.

Desde los trabajos realizados por los alquimistas sobre las propiedades del mercurio hasta el desastre de Minamata, se muestra la versatilidad de dicho elemento que actualmente requiere de un monitoreo constante en el ambiente marino y por supuesto, en los mamíferos marinos.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras y el autor agradecen a I. D. Barba-Acuña y J. Á. Ortega-Borchardt por la revisión del manuscrito y por el uso de sus fotografías.

LITERATURA CONSULTADA

- Bossart, G. D. 2011. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Veterinary Pathology* 48:676-690.
- Ekino, S., *et al.* 2007. Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning. *Journal of the Neurological Sciences* 262:131-144.
- Fernandes Azevedo, B., *et al.* 2012. Toxic effects of mercury on the cardiovascular and central nervous systems. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 2012:1-11.
- García-Aguilar, M. C., y D. Aurióles-Gamboa. 2003. Cuidado materno en el lobo marino de California de Los Islotes, Golfo de California, México. *Ciencias Marinas* 29:573-583.
- Kershaw, J. L., y A. J. Hall. 2019. Mercury in cetaceans: Exposure, bioaccumulation and toxicity. *Science of the Total Environment* 694:1-11.
- McCurry, J., 2016. Japan remembers Minamata. *The Lancet* 367:99-100.
- Quiles, A., *et al.* 2016. A high-precision chronological model for the decorated Upper Paleolithic cave of Chauvet-Pont d'Arc, Ardèche, France. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 113:4670-4675.
- Rosas-Hernández, M. P., C. J. Hernández-Camacho., D. Aurióles-Gamboa., y A. W. Trites. 2024. Age at weaning of California sea lions depends on colony latitude. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 581:152059.
- Symon, T. E., *et al.*, 2023. Mercury and selenium concentrations in lanugo of free-ranging California sea lions in the southern Gulf of California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 197:1-12.
- Szteren, D., y D. Aurióles-Gamboa. 2011. Regionalización ecológica de las colonias reproductivas de *Zalophus californianus*, como herramienta para su conservación en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 37:349-368.
- Wafo, E., *et al.* 2014. Methylmercury and trace element distribution in the organs of *Stenella coeruleoalba* dolphins stranded on the French Mediterranean coast. *Open Environmental Sciences* 8:35-48.
- Wisniak, J. 2008. The history of mercury. From discovery to incommodity. *CENIC Ciencias Químicas* 39:147-157.

Sometido: 14/oct/2025.

Revisado: 24/oct/2025.

Aceptado: 14/nov/2025.

Publicado: 15/nov/2025.

Editor asociado: Dra. Alina Gabriela Monroy-Gamboa.