

Carga de la enfermedad y costos en salud por la exposición a mercurio: revisión de alcance

Burden of disease and health costs from mercury exposure: Scoping review

Sonia M. Díaz¹ ; Eliana M. Téllez² ; Ruth M. Palma² ; Estefanía Zapata¹ ;
Leonardo Briceño Ayala¹ ; Marcela Varona¹ ; Natalia Guarín³ ; Carlos Trillos¹ .

*sdiaz21@gmail.com

Forma de citar: Díaz SM, Téllez EM, Palma RM, Zapata E, Briceño L, Varona M, *et al.* Carga de la enfermedad y costos en salud por la exposición a mercurio: revisión de alcance. Salud UIS. 2022; 54: e22021. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.54.e:22021>



Resumen

Introducción: el mercurio circula por el aire; persiste en suelos, sedimentos y agua, y causa efectos en la salud humana. Las mujeres en edad fértil y los neonatos son la población más vulnerable. **Objetivo:** analizar las evidencias sobre la carga de enfermedad ocasionada por la exposición a mercurio, así como el impacto económico sobre el sistema de salud. **Metodología:** revisión de alcance de la literatura, de las bases de datos PUBMED y EPISTEMONIKOS, búsqueda manual de documentos técnicos de entidades oficiales de diferentes continentes. **Resultados:** se identificaron 311 registros en bases de datos y 4 en búsqueda manual en entidades oficiales; 19 artículos fueron incluidos. **Discusión:** predomina la afectación del desarrollo neurológico y cognitivo en niños de madres expuestas y lactantes. Los costos se midieron por la pérdida del coeficiente intelectual. **Conclusión:** efectos en salud por la exposición a metilmercurio se traducen en gastos para la sociedad y los sistemas de salud.

Palabras clave: Mercurio; Exposición; Carga global de enfermedades; Costos en salud; Discapacidad intelectual; Años de vida ajustados por calidad; Disfunción cognitiva; Economía de la salud.

Abstract

Introduction: Mercury circulates through the air, persists in soils, sediments and water, and can affect human health. Women of childbearing age and newborns are the most vulnerable population. **Objective:** To analyze the

¹Universidad del Rosario. Bogotá. Colombia

²Instituto Nacional de Salud. Bogotá, Colombia

³Salud Total EPS. Bogotá, Colombia

evidence on the burden of disease caused by mercury exposure, as well as the economic impact on the health system. **Methodology:** Review of the literature, PUBMED and EPISTEMONIKOS databases, manual search of technical documents of official entities from different continents. **Results:** A total of 311 records were identified in databases and four in manual searches from official entities; 19 articles were included. **Discussion:** neurological and cognitive development in children of exposed mothers and infants are more predominant. Costs were measured by IQ loss. **Conclusion:** Health effects of methylmercury exposure translate into costs for society and health systems.

Keywords: Mercury; Exposition; Global burden of disease; Cost of illness; Intellectual disability; Quality-adjusted life years; Cognitive dysfunction; Health economics.

Introducción

Se ha documentado el incremento de hasta tres veces en los depósitos de mercurio (Hg) en sitios cercanos a las fuentes de emisión; estos depósitos dependen de la cantidad del Hg emitido y de la química atmosférica local¹. El Hg de forma natural está presente en material volcánico y a través de la quema de bosques²⁻⁵. Se encuentra principalmente por su uso en actividades antropogénicas, como la minería de oro, en amalgama dental, en el uso y eliminación de desechos, en la refinación en combinación con otros metales y en la quema de combustibles fósiles, actividades que aumentan de forma significativa las emisiones de Hg a la atmósfera⁶⁻¹².

La exposición a metilmercurio (MeHg) por parte de mujeres en edad reproductiva y durante la infancia ha sido motivo de estudio, debido a que este compuesto puede atravesar la barrera hematoencefálica y placentaria y ocasionar daños en el cerebro del feto, asociados con la disminución del coeficiente intelectual que se refleja en un menor rendimiento escolar¹⁷⁻²⁴.

La carga de morbilidad de una población contribuye a identificar los factores de riesgo y el cálculo de los AVAD (años de vida ajustados en función de la discapacidad), que incluye el tiempo perdido por la mortalidad prematura y trastornos no mortales, como una forma de medir el impacto en la salud de la población²⁵. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que 12,6 millones de muertes en todo el mundo son atribuibles a factores relacionados con el medioambiente y representan el 23% de todas las muertes (95% IC: 13-34%), mientras que la fracción de la carga mundial de enfermedad (muerte y discapacidad) debida al medioambiente es del 22% (IC 95%: 13-32%). Se ha calculado que hasta el 26% (IC 95%: 16-38%) de todas las muertes en menores de 5 años podrían ser prevenibles, si se eliminaran los riesgos ambientales²⁶.

El interés de esta revisión fue analizar las evidencias sobre la carga de enfermedad ocasionada por la exposición a mercurio, así como el impacto económico sobre el sistema de salud.

Metodología

Se realizó una revisión de alcance de la literatura, siguiendo los principios de la declaración PRISMA ScR para revisiones sistemáticas y metaanálisis²⁷, adaptados para revisiones de alcance. Las estrategias de búsqueda se realizaron en las bases de datos de PUBMED y EPISTEMONIKOS. De forma paralela, se desarrolló una búsqueda manual en los documentos técnicos de entidades oficiales en cuatro continentes: América, Asia, África y Europa. Una vez se detectaron los estudios por incluir, se realizó una búsqueda aplicando el sistema de bola de nieve mediante los artículos de listas de referencias similares.

Se incluyeron como palabras clave términos MeSH en el título o en el resumen: Mercury, Burden of Disease, Cost of Illness, Quality-Adjusted Life Years.

Los criterios de inclusión de artículos fueron: estudios que involucraran población humana; estudios que mostraran medidas epidemiológicas que indicaran los efectos sobre la salud de la población a través de los años de vida perdidos o en términos de calidad de vida; revisiones sistemáticas y/o metaanálisis que dieran respuesta al objeto del estudio; estudios observacionales, así como publicaciones de entidades oficiales; publicaciones entre el año 2010 y 2020; idioma inglés, español, francés, portugués; y artículos con acceso a texto completo libre (excepto unos pocos artículos que se detectaron a través del sistema de bola de nieve). Se excluyeron los artículos que solo describían sintomatología o intervenciones terapéuticas, artículos de estudios de toxicología ambiental en animales y en plantas, cartas al editor y estudios duplicados.

Inicialmente, se realizó una lectura de títulos y resúmenes para eliminar los artículos que no cumplieran con los criterios de inclusión. Los interrogantes o diferencias se resolvieron por consenso con el investigador principal en cada etapa del proceso. Posteriormente, se revisaron los textos completos y, para recolectar y resumir la información de los artículos incluidos en esta revisión, se utilizó una matriz en Excel elaborada por el equipo de investigación que incluyó los datos generales de los estudios, como el año de publicación, autor(es), título, país, objetivo y resultados relevantes que dieran respuesta a la pregunta de investigación.

Según la Resolución 8430 de 1993, artículo 11 del Ministerio de Salud colombiano, y la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, esta investigación se clasifica en la categoría investigación sin riesgo. Esta revisión hace parte del proyecto de investigación 770-2018 de Hg y enfermedad renal crónica, financiado por el Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación de Colombia.

Resultados

En la **Figura 1** se relacionan los 315 artículos que arrojó la búsqueda, de los cuales se obtuvieron 76 para lectura completa; de estos, se seleccionaron 19 documentos (15 artículos y 4 informes técnicos de entidades) que mostraron información relacionada con carga de enfermedad y/o costos en salud por la exposición a Hg. Así mismo, se describió la población objeto de estudio, el tamaño de muestra, el método empleado y los hallazgos más importantes (material complementario).

De los 19 documentos seleccionados, el 15,8% (3) fueron estudios realizados en mineros de oro, el 21,0% (4) en mujeres en edad fértil, el 26,3% (5) en niños y el 42,1% (8) en población global. En los resultados obtenidos, se clasificaron 5 estudios que corresponden a carga de enfermedad y 14 estudios, a costos en salud, los cuales se mencionan a continuación.

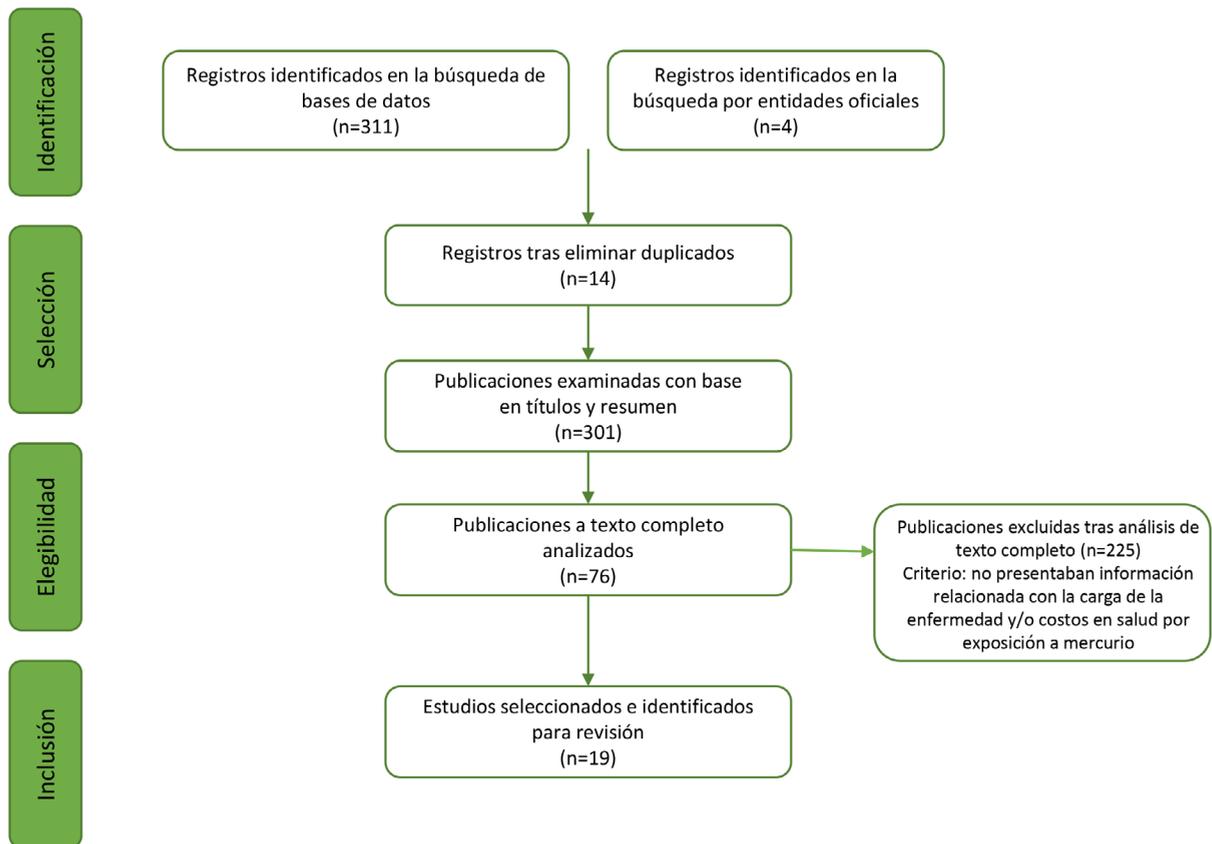


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de revisión

Carga de la enfermedad

Son pocos los estudios que han estimado la carga de la enfermedad por exposición a Hg. Sin embargo, algunos de estos evidencian la afectación en salud; la más estudiada a nivel del desarrollo neurológico es el retraso mental leve (RML) de los lactantes expuestos, lo cual se ha utilizado como marcador de toxicidad del MeHg durante la gestación, con base en la información del daño en el desarrollo cognitivo de estos niños. Este efecto negativo sobre la salud se evalúa como la pérdida de puntos en el coeficiente intelectual (CI) de los niños de madres expuestas, que se traduce en un retraso mental leve. Se sabe que, en toda la población, la inteligencia adopta una distribución más o menos normal, con una media de 100 puntos de CI y una desviación estándar de 15 puntos. Existe RML cuando el CI se encuentra en el rango de 50 y 70 puntos. Así, pues, el número de lactantes que se podrían incluir en la categoría de RML por determinada exposición a MeHg se puede calcular a partir de la media y la desviación estándar de las concentraciones de Hg en el cabello de las madres²⁵.

Santiago de Vasconcellos *et al.* realizaron un estudio relacionado con RML y la exposición a MeHg en niños de poblaciones amazónicas, en el que clasificaron tres escenarios de exposición: nivel bajo de exposición a Hg (<1 µg/g) con una tasa de incidencia de retraso mental de 0,89/1000 neonatos y 10,6 AVAD/1000 neonatos; nivel intermedio (menor de 10 µg/g de Hg), en el cual se pronosticó una pérdida de 210,26 puntos de CI por todos los niños nacidos en un año, lo que resulta en una tasa de incidencia de retraso mental de 5,96/1 000 neonatos y un AVAD de 71,1/1000 neonatos; nivel alto (mayor de 10 µg/g Hg), cuya concentración media de Hg en cabello fue de 19,91 µg/g, con lo que los autores estimaron que casi el 80% de los niños nacidos perderían 2,0 puntos en la escala de CI. Calcularon que este porcentaje correspondería al nacimiento de 244 niños cada año con un déficit de 2,0 puntos de CI, lo que significa un AVAD de 215,2/1000 niños. La tasa de incidencia de RML fue de 18,03/1000 neonatos²⁸.

Otros estudios revisados utilizaron el nivel de MeHg en el cabello de mujeres embarazadas o en edad fértil para evaluar la exposición de estas a áreas contaminadas. Se observaron pérdidas de puntos en el CI de los niños en una relación lineal con los niveles de Hg; se encontró que, por cada aumento de 1 µg de Hg por g de cabello materno, se da una disminución de 0,18 puntos en el CI del bebé. Uno de estos estudios calculó la tasa de incidencia más alta de retraso mental leve en una población de pescadores de subsistencia en el Amazonas brasileiro, que fue de 17,37 por cada 1000

bebés nacidos, lo que resultó en una pérdida de 202,8 AVAD por 1000 bebés. Este mismo cálculo lo realizaron en consumidores de pescado proveniente de un río contaminado con MeHg en China, donde se encontró que el AVAD general fue de 60,6, y en diferentes grupos de pescadores, de acuerdo con la ubicación geográfica, fue de 45,7/36,8 y 29,9 de AVAD²⁹.

El estudio realizado por Feng *et al.* mostró que los niños con niveles de Hg superiores a 1 µg/g en el cabello tenían 1,58 veces más probabilidades de tener una puntuación de CI menor a 80 y que el aumento de 1 µg/g de Hg en el cabello llevó a la pérdida de 1,0 punto de CI en los niños de Wanshan, lo que se tradujo en un costo económico calculado en 69,8 millones de dólares (9,43% del PIB total) en el área de Wanshan en 2018, debido a la exposición al Hg³⁰.

Un estudio realizado en el 2014 por Steckling *et al.* estimó de manera preliminar los AVAD debidos al uso crónico de Hg en minería de oro de pequeña escala/artesanal en Zimbabwe. Los autores realizaron un cálculo de la carga de la enfermedad con datos de prevalencia de intoxicación crónica hasta el 2004. Utilizaron 272 individuos (181 mineros y 91 controles) con rango de edad de 9-75 años y una exposición entre 1-23 años. La prevalencia de intoxicación crónica por Hg fue de 72% en los mineros. Se estimó en 95,4 los AVAD para la población total de Zimbabwe del 2004 (8/1000 personas), teniendo en cuenta que entre el 80-90% de los mineros mostraron concentraciones de Hg por encima de los valores límite de exposición³¹.

Estos mismos autores, en un estudio publicado en 2017 sobre carga global de la enfermedad por exposición a Hg en la minería de oro artesanal a pequeña escala, estimaron que esta oscila entre 1,22 (0,87-1,61) a 2,39 (1,69-3,14) millones de AVAD, aunque mencionan que la disponibilidad de datos y la calidad de los mismos limitan los resultados y probablemente aún no se logre establecer la carga total de la enfermedad. Sin embargo, indican claramente que la intoxicación por Hg en los mineros de oro a pequeña escala es un problema de salud global importante que debe ser atendido, dado que, a nivel mundial y a partir de la literatura encontrada, 14 a 19 millones de personas se emplean en este trabajo, y, según datos de biomonitorio humano, entre el 25% y el 33% de ellos (3,3 a 6,5 millones de mineros en el mundo) sufren intoxicación crónica por exposición a vapor de Hg metálico. Este estudio incluyó 62 países y supuso la misma prevalencia media para todos ellos; se encontró que la carga de enfermedad por cada 100 000 habitantes fue más alta en la región africana y más baja

en la región del Sudeste Asiático, en donde solo se incluyó India e Indonesia, mientras que no hubo una carga cuantificable para la región europea de la OMS³².

Costos económicos de la enfermedad

Cualquier enfermedad genera una carga económica por el consumo o la pérdida de recursos utilizados en acciones de promoción y prevención, tratamiento y rehabilitación, así como los costos por la mortalidad prematura o la discapacidad que puede quedar como consecuencia de una dolencia³³.

Los estudios que evalúan el costo de las enfermedades lo hacen estimando los efectos de una enfermedad, de un grupo de estas o de un factor de riesgo específico, sobre los recursos económicos y sobre las variables que pueden llegar a tener un efecto negativo en el bienestar de la población. La medición de los efectos de una determinada enfermedad sobre el sector económico se hace en términos de recursos monetarios³⁴.

Algunos países de Europa realizaron un análisis en el que pronosticaron en 2010 que las emisiones de Hg iban a aumentar entre 2005 y 2020 más o menos un 25%, si se continuaba utilizando este metal de manera constante. También determinaron que si estas emisiones hubieran disminuido entre un 50 a un 60% para el 2020, basados en la baja ingesta de MeHg, y por ende en la reducción de la pérdida del CI, los beneficios serían aproximadamente de 1,8-2,2 mil millones de dólares³⁵. Mientras que en otro estudio realizado en la población de EE.UU. para el mismo año estimó un beneficio nacional esperado de un 10%, aproximadamente 170 millones de dólares (~USD 0,60 / persona), con la reducción de la exposición a MeHg a través de la ingesta de pescado³⁶.

En Francia, se realizó una evaluación económica de los beneficios nacionales anuales de reducir la exposición prenatal a MeHg y evitar la pérdida de puntos del CI. Los autores estimaron los impactos económicos por año en dos estudios realizados en comunidades costeras, donde presentaban mayores niveles de exposición por el consumo de pescado, y hallaron que el costo económico ascendía a 5,46 mil millones de euros (nacional) y 9,13 mil millones de euros (regional), para exposiciones superiores a 0,58 µg/g de Hg en cabello³⁷. En otro estudio que también evaluó los costos anuales de la contaminación por Hg en Francia, país que tiene niveles de exposición un poco más altos que EE. UU., se estimó una disminución anual de 157 000 puntos del CI, con un valor de cada punto del CI perdido de USD 18 000, lo que en términos generales representa un alto

costo para la sociedad³⁸. Igualmente, en 17 países de Europa se realizó un estudio que evaluó los beneficios económicos de evitar la neurotoxicidad del desarrollo, enfocándose en la valoración de pérdida evitable del CI si se elimina la exposición a Hg. Esta se estimó en aproximadamente 9 mil millones de euros anuales para Europa³⁹.

En una revisión realizada por González-Estecha *et al.* en 2015, sobre recomendaciones existentes alrededor de métodos de análisis, interpretación de resultados y evaluación económica del MeHg, se encontraron dos estudios europeos que evaluaban el costo de la pérdida de CI teniendo en cuenta las recomendaciones de la JEC-FA (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios) y la EPA. El primer estudio, realizado por Pichery y Bellanger propuso dos modelos de ajuste entre niveles de MeHg en cabello (o sangre) y pérdida de puntos de CI: uno es lineal y el otro es logarítmico. El modelo lineal propone una relación de 0,465 puntos de CI perdidos por cada incremento de 1 µg de MeHg/g en el cabello de la madre; no hay pérdida de puntos de CI con valores de Hg por debajo de 0,58 µg/g. En el modelo logarítmico se establece que al doblar la concentración de MeHg en cabello, se pierde 1,5 puntos de CI. De acuerdo con los criterios establecidos por Gould, el precio de cada punto de CI estimado en euros para el año 2008 era de €17.363. Así, pues, si se ajustaran al modelo lineal, los beneficios que se obtendrían de evitar la exposición al MeHg en recién nacidos serían entre 5 y €1 750 000. Este mismo estudio se ha realizado con datos del proyecto DEMOCOPHES, que recopila información de 31 países europeos, en el que se ha determinado que el beneficio que se obtendría, para cada cohorte de niños recién nacidos, sería de €39 061 000, de los cuales €15.564 corresponderían a España⁴⁰.

Por su parte, Gakin *et al.* en el 2015, en Ontario, Canadá, buscaron establecer costo-efectividad de los programas de tamizaje periconcepcional para determinar el Hg en sangre en mujeres que planeaban quedar embarazadas. Realizaron un árbol de decisiones para comparar el tamizaje propuesto para mujeres con valores de Hg superiores al valor normal, con la prueba estándar (sin mediciones de Hg) desde una perspectiva social. Recomendaron consumir pescado hasta 2 veces por semana y sustituir el pescado con altos niveles de Hg por pescados con menos niveles. Participaron mujeres entre 20-49 años que hicieron parte de la encuesta canadiense de medición en salud. Estas mujeres fueron seguidas para determinar el déficit cognitivo de sus hijos, asociado a exposición prenatal a MeHg.

El valor del año de vida ajustado por calidad, ganado con la propuesta de tamizaje, fue de 18 051 dólares canadienses, y el valor esperado dispuesto a pagar fue de C\$0,61 a C\$50 000. La propuesta costaría C\$33,79 por nacido vivo desde la planeación del embarazo, mientras que el caso de referencia es de C\$2,33. Se esperaba ver como resultados una reducción de calidad de vida y el costo de educación correctiva, hasta grado 12. Se encontró que un programa de tamizaje de Hg en sangre periconcepcional para mujeres que quieren quedar embarazadas es altamente costoso desde una perspectiva social⁴¹.

En EE. UU., dos investigadores crearon un método de evaluación de la exposición a Hg modelando el transporte atmosférico de este metal con el factor económico, e incluyeron como efecto la disminución del CI y los daños a nivel cardiovascular, con el fin de analizar los beneficios económicos potenciales para el país al evitar efectos adversos para la salud humana relacionados con la exposición a Hg. Proyectaron que los beneficios acumulados de por vida con la información de la Convención de Minamata para las personas afectadas a 2050 serán en promedio de 339 mil millones de dólares⁴².

En el estudio realizado por Trasande *et al.* en el 2016, se estimó el costo relacionado con la exposición a Hg en 15 países en desarrollo, de los cuales 7 se encontraban en el continente asiático (Bangladés, India, Indonesia, Nepal, Rusia, Sri Lanka, Tailandia), se analizaron las muestras de cabello de subpoblaciones expuestas. Los datos fueron utilizados para estimar el costo económico de la exposición a Hg en estas comunidades, y se empleó una relación dosis-respuesta lineal, identificada previamente por Axelrad *et al.*⁴³, de una disminución de 0,18 puntos en el CI por cada μg de Hg que aumentara en el cabello de la madre. Adicionalmente, los autores estimaron el aumento correspondiente a discapacidad intelectual y AVAD. Identificaron 1310 casos anuales de discapacidad intelectual atribuible a la exposición a Hg, lo que ocasiona 16 501 AVAD perdidos. Además, estimaron un total de 77,4 millones de dólares en productividad económica perdida asumiendo un nivel de referencia de $1 \mu\text{g}/\text{g}$ ⁴⁴.

Así mismo, de acuerdo con uno de los informes de la Human Rights, un estudio realizado en EE. UU. calculó que entre 300 000 y 600 000 niños estadounidenses tienen un menor CI como resultado de la exposición a emisiones de Hg industrial. Se calculó una baja de la productividad debida a la pérdida de CI por exposición a MeHg de aproximadamente 8.700 millones de

dólares. Por otro lado, un estudio que evaluó los daños sociales causados por la ingesta de MeHg a nivel mundial estimó que para el año 2020 los costos anuales serían aproximadamente 3.700 millones de dólares, debido a la pérdida de CI⁴⁵. Mientras que en otro estudio realizado en Europa, los autores establecieron que la pérdida del CI cuesta €9.000 anuales, por el impacto potencial permanente a nivel cerebral en niños⁴⁶.

En Colombia, según estimaciones del Departamento Nacional de Planeación, en su informe “Dividendos ambientales de la paz”, este país ahorraría 516 mil millones de pesos por costos evitados en salud debido al uso de Hg⁴⁷.

Discusión

Esta revisión también estuvo enfocada en los costos en los que se incurre para atender las intoxicaciones por Hg. En la mayoría de los países, el gasto en el sector salud se ha venido incrementando en los últimos años, por lo que la asignación de recursos se hace para que estos sean utilizados eficientemente por los sistemas de salud. Por esto, las evaluaciones económicas son una herramienta muy útil para la toma de decisiones, la asignación de recursos y la integración de nuevas tecnologías diagnósticas conseguidas con recursos públicos. Estas evaluaciones incluyen los costos de identificar y valorar los recursos empleados, en una decisión asociada con la atención de la enfermedad, hasta la rehabilitación, si esta fuera necesaria³³.

Muchos países en desarrollo tienen información limitada sobre el impacto económico de la exposición a Hg, por lo que la intoxicación por este metal y los efectos que produce en la población expuesta no han sido suficientemente valorados en términos de costos económicos. Son muchos los estudios que se han realizado, en los que se estiman sus efectos por autoreporte o evaluación directa, se determinan los niveles biológicos de este metal en la población y en algunos se determinan los síntomas más frecuentemente asociados. Sin embargo, la medición económica de estas afectaciones no es muy habitual, a pesar de que estos efectos son devastadores y están generando costos muy elevados en atención en salud y en pérdida de años de vida saludable, sin mencionar la pérdida creciente de CI de la población infantil de países en desarrollo. Sumado a lo anterior, gran parte de las emisiones de Hg a la atmósfera se hacen en forma de Hg metálico, cuyo tiempo de residencia es lo suficientemente largo como para causar una mezcla casi uniforme en el hemisferio que genera un impacto global⁴⁸. Debido a esto, se han

encontrado niveles de Hg en fauna de sitios donde no existe explotación minera ni uso de Hg.

Los daños a nivel neuronal, traducidos en déficit del CI de los niños cuyas madres estuvieron expuestas o de estos mismos niños siguen expuestos de manera ambiental a vapores de Hg o al consumo de pescado contaminado, producen una baja sensible en productividad de las naciones, medida en AVAD o mortalidad por la intoxicación. Los esfuerzos para reducir las exposiciones a MeHg tendrían altos beneficios sociales al prevenir las consecuencias graves y permanentes de los déficits de neurodesarrollo en los niños³⁷; con la reducción de la exposición a este contaminante, mayores serán los beneficios económicos³⁶.

Entre los hallazgos de esta revisión se encontró que la exposición a MeHg puede causar pérdida de inteligencia para toda la vida en cientos de miles de niños estadounidenses que nacen cada año; esta pérdida de inteligencia se torna muy importante en gastos para la sociedad que podrían llegar a sumar cientos de millones de dólares anuales. Sin embargo, estos costos estimados solo se calculan para los AVAD, sin tener en cuenta otras afectaciones en el individuo intoxicado (como los efectos cardiovasculares), lo que resultaría en un costo más elevado de la intoxicación por Hg⁴⁴. Además, estos costos se repetirán cada año con cada nueva cohorte de nacimiento, siempre y cuando no se controlen las emisiones de Hg.

Si se tiene en cuenta lo informado por la OMS, es posible esperar que a partir de 100 µg Hg/g de creatinina en orina se puedan presentar efectos neurológicos, y con una concentración de 50 µg Hg/g de creatinina se espera que ocurran efectos renales⁴⁹. Las poblaciones tanto ocupacional como ambientalmente expuestas tienen probabilidad de desencadenar estos efectos en salud, que pueden llevar a otras complicaciones e incrementar los costos al sistema de salud de cada país.

Cabe resaltar que las estimaciones económicas de la carga de enfermedad y, en este caso la intoxicación por Hg, deben hacerse de manera más cuidadosa por los países en donde la explotación minera aún es muy precaria y emplea a numerosas personas que ven en esta actividad el sustento para sí mismos y sus familias, quienes no miden las consecuencias del uso indiscriminado de Hg. Los costos asociados a los efectos negativos de la intoxicación son muy altos para los sistemas de salud de los países en desarrollo, pues al no ser cuantificados, las decisiones en salud no son las más acertadas y la atención de la enfermedad es la única

actividad del sistema, en lugar de la promoción, la cual evita que la carga de la enfermedad sea tan onerosa y permite obtener los mayores beneficios en salud para la población a partir de los recursos disponibles, que por cierto no son ilimitados.

A pesar de que los efectos del Hg en la salud son conocidos, esto no se traduce en acciones para prevenir la intoxicación. De acuerdo con lo recomendado por Budnik y Casteleyn, es muy importante que se estudien más los riesgos de efectos sobre la salud a largo plazo por la exposición prolongada a dosis bajas. Estas acciones de prevención deben tener en cuenta las actividades de biomonitorio humano. Igualmente, los resultados de investigaciones deben servir como herramientas de gestión para quienes diseñan políticas en salud pública, y deben orientar la atención sobre la contaminación por Hg en el mundo⁵⁰.

Así mismo, dado que el Hg es nocivo para la salud, los países deben caminar de manera acertada hacia la erradicación del uso del Hg en sus actividades económicas para salvaguardar las condiciones de salud de sus habitantes.

Conclusiones

Los efectos en salud que puede causar la exposición a MeHg se traducen a largo plazo en gastos para la sociedad y para los sistemas de salud, por tanto, es necesario medir el impacto negativo que tiene la exposición a Hg tanto para la salud como para la economía de los países, con el fin de que se tomen medidas que eviten que la carga de enfermedad sea tan costosa, cuando se pueden prevenir.

Si se consideran los costos económicos producidos por la exposición a Hg y todos los efectos socioeconómicos que esta exposición genera, los países deberían implementar mayores políticas para eliminar completamente el Hg en las actividades de minería de oro, la cual genera el mayor impacto.

Referencias

1. Lindberg S, Bullock R, Ebinghaus R, Engstrom D, Feng X, Fitzgerald W, et al. A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition. *Ambio*. 2007; 36(1): 19-32. doi: [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[19:ASOPAU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[19:ASOPAU]2.0.CO;2)
2. Montoya AJ, Lena JC, Windmöller CC. Adsorption of gaseous elemental mercury on soils: Influence

- of chemical and/or mineralogical characteristics. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2019; 170: 98-106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.054>
3. Edwards BA, Kushner DS, Outridge PM, Wang F. Fifty years of volcanic mercury emission research: Knowledge gaps and future directions. *Sci Total Environ*. 2021; 757: 143800. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143800>
 4. Ferrara R, Mazzolai B, Lanzillotta E, Nucaro E, Pirrone N. Volcanoes as emission sources of atmospheric mercury in the Mediterranean basin. *Sci Total Environ*. 2000; 259(1-3): 115-121. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00558-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00558-1)
 5. Sall ML, Diaw AKD, Gningue-Sall D, Efremova Aaron S, Aaron J-J. Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020; 27(24): 29927-29942. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09354-3>
 6. Giang A, Selin NE. Benefits of mercury controls for the United States. *Proc Natl Acad Sci U S A*.; 2016;113(2): 286-291. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1514395113>
 7. Bose-O'Reilly S, Bernaudat L, Siebert U, Roeder G, Nowak D, Drasch G. Signs and symptoms of mercury-exposed gold miners. *Int J Occup Med Environ Health*. Nofer Institute of Occupational Medicine; 2017;30(2): 249-269. doi: <https://doi.org/10.13075/ijomh.1896.00715>
 8. Diringer SE, Feingold BJ, Ortiz EJ, Gallis JA, Araújo-Flores JM, Berky A, et al. River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. *Environ Sci Process Impacts*. 2015;17(2): 478-487. doi: <https://doi.org/10.1039/C4EM00567H>
 9. El Asar HM, Mohammed EA, Aboulhoda BE, Emam HY, Imam AA-A. Selenium protection against mercury neurotoxicity: Modulation of apoptosis and autophagy in the anterior pituitary. *Life Sci*. 2019;231: 116578. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.116578>
 10. Sakamoto M, Nakamura M, Murata K. Mercury as a global pollutant and mercury exposure assessment and health effects. *Nihon Eiseigaku Zasshi*. 2018; 73(3): 258-264. doi: <https://doi.org/10.1265/jjh.73.258>
 11. Tibau AV, Grube BD. Mercury Contamination from Dental Amalgam. *J Health Pollut*. 2019; 9(22): 190612. doi: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.22.190612>
 12. Gworek B, Dmuchowski W, Baczewska AH, Bągoszewska P, Bemowska-Kalabun O, Wrzosek-Jakubowska J. Air contamination by mercury, emissions and transformations-a review. *Water Air Soil Pollut*. 2017;228(4): 123. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3311-y>
 13. Liu M, Chen L, He Y, Baumann Z, Mason RP, Shen H, et al. Impacts of farmed fish consumption and food trade on methylmercury exposure in China. *Environ Int* 2018; 120: 333-344. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.017>
 14. Gaioli M, Amoedo D, González D. Impact of mercury on human health and the environment. *Arch Argent Pediatr*. 2012; 110(3): 259-264. doi: <https://doi.org/10.5546/aap.2012.259>
 15. Natasha, Shahid M, Khalid S, Bibi I, Bundschuh J, Khan Niazi N, et al. A critical review of mercury speciation, bioavailability, toxicity, and detoxification in soil-plant environment: Ecotoxicology and health risk assessment. *Sci Total Environ* . 2020; 711: 134749. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134749>
 16. Esdaile LJ, Chalker JM. The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. *Chem Eur J*. 2018; 24(27): 6905-6916. doi: <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>
 17. Bellanger M, Pichery C, Aerts D, Berglund M, Castaño A, Čejchanová M, et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention. *Environ Health*. 2013;12: 3. doi: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-3>
 18. Llop S, Ibarluzea J, Sunyer J, Ballester F. 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. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2012.09.002>
 19. Maitre L, Robinson O, Martínez D, Toledano MB, Ibarluzea J, Marina LS, et al. Urine metabolic signatures of multiple environmental pollutants in pregnant women: An exposome approach. *Environ Sci Technol*. 2018;52(22): 13469-13480. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02215>
 20. Huang SH, Weng KP, Lin CC, Wang CC, Lee CTC, Ger LP, et al. Maternal and umbilical cord blood levels of mercury, manganese, iron, and copper in southern Taiwan: A cross-sectional study. *J Chin Med Assoc*. 2017; 80(7): 442-451. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2016.06.007>
 21. Kern JK, Geier DA, Sykes LK, Haley BE, Geier MR. The relationship between mercury and autism: A comprehensive review and discussion. *J Trace Elem Med Biol*. 2016; 37: 8-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.06.002>

22. Cariccio VL, Samà A, Bramanti P, Mazzon E. Mercury involvement in neuronal damage and in neurodegenerative diseases. *Biol Trace Elem Res.* 2019; 187(2): 341-356. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1380-4>
23. Santos-Sacramento L, Arrifano GP, Lopes-Araújo A, Augusto-Oliveira M, Albuquerque-Santos R, Takeda PY, et al. Human neurotoxicity of mercury in the Amazon: A scoping review with insights and critical considerations. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021; 208: 111686. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111686>
24. Bjørklund G, Chirumbolo S, Dadar M, Pivina L, Lindh U, Butnariu M, et al. Mercury exposure and its effects on fertility and pregnancy outcome. *Basic Clin Pharmacol Toxicol.* 2019; 125(4): 317-327. doi: <https://doi.org/10.1111/bcpt.13264>
25. Poulin, Jessie, Gibb, Herman, Prüss-Üstüm, Annette, Organización Mundial de la Salud. Mercurio: evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. Report number: 16, 2013 p. 75. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/78130>
26. World Health Organization. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. <http://www.who.int/publications/item/9789241565196>
27. Urrútia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clin.* 2010; 135(11): 507-511. doi: <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
28. Santiago de Vasconcellos AC, Guimarães Barrocas PR, Vega Ruiz CM, de Souza Mourão D, de Souza Hacon S. Burden of mild mental retardation attributed to prenatal methylmercury exposure in Amazon: local and regional estimates. *Cien Saude Colet;* 2018; 23(11): 3535-3545. doi: <https://doi.org/10.1590/1413-812320182311.15812016>
29. Bose-O'Reilly S, McCarty KM, Steckling N, Lettmeier B. Mercury exposure and children's health. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care.* 2010; 40(8): 186-215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2010.07.002>
30. Feng L, Zhang C, Liu H, Li P, Hu X, Wang H, et al. Impact of low-level mercury exposure on intelligence quotient in children via rice consumption. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020; 202: 110870. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110870>
31. Steckling N, Bose-O'Reilly S, Pinheiro P, Plass D, Shoko D, Drasch G, et al. The burden of chronic mercury intoxication in artisanal small-scale gold mining in Zimbabwe: data availability and preliminary estimates. *Environ Health.* 2014; 13(1): 111. doi: <https://doi.org/10.1186/1476-069x-13-111>
32. Steckling N, Tobollik M, Plass D, Hornberg C, Ericson B, Fuller R, et al. Global burden of disease of mercury used in artisanal small-scale gold mining. *Ann Glob Health.* 2017; 83(2): 234-247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.12.005>
33. Ripari N, Moscoso N, Elorza M. Costos de enfermedades: una revisión crítica de las metodologías de estimación. *Lect Econ.* 2012; 77: 253-282.
34. Fernández García A, Gálvez González AM, Villar Valdés R. Fundamentos de los estudios de costo de la enfermedad: valoración actual del costo del glaucoma. *Rev Cubana Med Gen Integr.* 2010; 26(3).
35. Sundseth K, Pacyna JM, Pacyna EG, Munthe J, Belhaj M, Astrom S. Economic benefits from decreased mercury emissions: Projections for 2020. *J Clean Prod.* 2010; 18(4): 386-394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.017>
36. Rice GE, Hammitt JK, Evans JS. A probabilistic characterization of the health benefits of reducing methyl mercury intake in the United States. *Environ Sci Technol;* 2010; 44(13): 5216-5224. doi: <https://doi.org/10.1021/es903359u>
37. Pichery C, Bellanger M, Zmirou-Navier D, Fréry N, Cordier S, Roue-Legall A, et al. Economic evaluation of health consequences of prenatal methylmercury exposure in France. *Environ Health.* 2012; 11: 53. doi: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-53>
38. Grandjean P, Pichery C, Bellanger M, Budtz-Jørgensen E. Calculation of mercury's effects on neurodevelopment. *Environ Health Perspect.* 2012; 120(12): A452. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1206033>
39. Bellanger M, Pichery C, Aerts D, Berglund M, Castaño A, Čejchanová M, et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention. *Environ Health.* 2013; 12: 3. doi: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-3>
40. González-Estecha M, Bodas-Pinedo A, Martínez-García MJ, Trasobares-Iglesias EM, Bermejo-Barrera P, Ordóñez-Iriarte JM, et al. Methylmercury: existing recommendations; methods of analysing and interpreting the results; economic evaluation. *Nutr Hosp.* 2014;31(1): 1-15. doi: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8316>
41. Gaskin J, Rennie Colin, Coyle Doug. Reducing Periconceptional methylmercury exposure: cost-utility analysis for a proposed screening program for women planning a pregnancy in Ontario, Canada.

- Environ Health Perspect; 2015; 123(12): 1337-1344. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1409034>
42. Giang A, Selin NE. Benefits of mercury controls for the United States. *Proc Natl Acad Sci*. 2016; 113(2): 286-291. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1514395113>
43. Axelrad DA, Bellinger DC, Ryan LM, Woodruff TJ. Dose-response relationship of prenatal mercury exposure and IQ: an integrative analysis of epidemiologic data. *Environ Health Perspect*. 2007; 115(4): 609-615. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.9303>
44. Trasande L, DiGangi J, Evers DC, Petrlik J, Buck DG, Šamánek J, et al. Economic implications of mercury exposure in the context of the global mercury treaty: Hair mercury levels and estimated lost economic productivity in selected developing countries. *J Environ Manage*. 2016; 183: 229-235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.058>
45. Center for International Environmental Law. Human Rights Implications of Toxic Chemicals - Issue Briefs. 2016. <https://www.ciel.org/project-update/human-rights-implications-of-toxic-chemicals-issue-briefs/>
46. European Environment Agency. Mercury in Europe's environment. 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/mercury-in-europe-s-environment>
47. Díaz SLC, Prada CZ, López JB, Otalora GDR, Cala JER, Vengoechea RCO, et al. Dividendos ambientales de la paz Retos y oportunidades para construir una paz sostenible. *Archivos de Economía*. Departamento Nacional de Planeación. Report number: 015122, 2016. <https://ideas.repec.org/p/col/000118/015122.html>
48. Spadaro JV, Rabl A. Global health impacts and costs due to mercury emissions. *Risk Anal*. 2008; 28(3): 603-613. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01041.x>
49. Gibb H, O'Leary KG. Mercury exposure and health impacts among individuals in the artisanal and small-scale gold mining community: A Comprehensive Review. *Environ Health Perspect*. 2014; 122(7): 667-672. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1307864>
50. Budnik LT, Casteleyn L. Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. *Sci Total Environ*. 2019; 654: 720-734. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.408>