

ARTÍCULO ORIGINAL

## Hacia un plan nacional para el control de los efectos del mercurio en la salud en Colombia

Isabel Cristina Casas<sup>1,2</sup>, Elidier Gómez<sup>1</sup>, Lina María Rodríguez<sup>1</sup>,  
Sandra Lorena Girón<sup>1,3</sup>, Julio César Mateus<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Área de Salud, Fundación FES, Cali, Colombia

<sup>2</sup> Escuela de Rehabilitación Humana, Universidad del Valle, Cali, Colombia

<sup>3</sup> Escuela de Salud Pública, Universidad del Valle, Cali, Colombia

**Introducción.** La problemática del uso del mercurio es global y afecta tanto a los humanos como al ambiente. Los efectos del mercurio en la salud son diversos, por eso es necesario abordar el problema desde una perspectiva amplia, identificando las poblaciones en riesgo de exposición, sus efectos en la salud, los procesos productivos involucrados y las acciones para disminuir la exposición y mitigar el impacto.

**Objetivo.** Diseñar un marco conceptual y operativo para desarrollar estrategias de prevención, control y mitigación de los efectos del mercurio sobre la salud y el ambiente en Colombia.

**Materiales y métodos.** Se hizo un estudio en dos fases: una revisión de la literatura científica siguiendo la metodología Cochrane, y foros con expertos nacionales e internacionales orientados a la planificación integral para identificar las acciones prioritarias y construir la agenda de investigación nacional.

**Resultados.** Los resultados de la revisión se estructuraron en cuatro componentes: efectos del mercurio en la salud, marco legal en Colombia, inventario de emisiones en el país, y planes y programas existentes en el sector de la salud. Se presentaron recomendaciones para diseñar un plan de intervenciones considerando cinco líneas de acción: gestión tecnológica para la prevención de la exposición, fortalecimiento institucional para la prevención y el control de la exposición, fortalecimiento de estrategias de diagnóstico y atención, educación en salud sobre los riesgos del mercurio y generación de conocimiento.

**Conclusiones.** Se visibilizaron vacíos de información, así como debilidades técnicas, administrativas y necesidad de recursos en Colombia, y se propusieron acciones prioritarias para disminuir el impacto económico, social y en salud de la exposición al mercurio.

**Palabras clave:** mercurio, política de salud, impactos en la salud, grupos vulnerables, límites permisibles.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2458>

### Toward a national plan to control health effects of mercury in Colombia

**Introduction:** The problem of mercury effects on humans and the environment is global, and it has different impacts on health. It is necessary, therefore, to address this issue from a broad overview to identify populations at risk of exposure, health effects, the production processes involved and the actions aimed at reducing exposure and mitigating the impact.

**Objective:** To design a conceptual and operational framework to develop strategies for prevention, control and mitigation of mercury effects on health and on the environment in Colombia.

**Materials and methods:** We conducted a two-phase study: a literature review following the Cochrane methodology and forums with national and international experts using a comprehensive planning methodology to identify priority actions and establish a national research agenda.

**Results:** The results of the review were structured into four components: mercury effects on health, legal framework in Colombia, emission inventory for the country and health plans and programs. We made recommendations for the design of an intervention plan considering five lines of action: technologies for exposure management, institutional strengthening for exposure prevention and control, strategies for strengthening diagnosis and care, health education on mercury risks, and knowledge generation.

**Conclusion:** We detected information gaps, technical weaknesses, and the need of administrative and other resources in this field in Colombia. We proposed priority actions to reduce the economic, social and health impact from exposure to mercury.

**Key words:** Mercury, health policy, impacts on health, risk groups, permissible limits.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2458>

#### Contribución de los autores:

Todos los autores participaron en el diseño y desarrollo del proyecto, y en la escritura del manuscrito.

El mercurio se produce de manera natural en el ambiente, sin embargo, su concentración ambiental se ha elevado de 2 a 5 veces desde el inicio de la era industrial (1-3). Las actividades productivas e industriales, así como los desechos de la minería y de los sedimentos industriales, han incrementado la exposición a este metal (3-7).

Se ha documentado que actividades como la minería artesanal, el consumo de pescado contaminado, el uso de amalgamas dentales en procedimientos odontológicos rutinarios y las vacunas que contienen mercurio, pueden generar exposiciones tóxicas a esta sustancia. El uso del mercurio en la industria aún es elevado, por lo que puede ser una fuente importante de exposición humana, y hace pensar que las liberaciones de este metal en el ambiente estarían subestimadas.

Una vez emitido, el mercurio se dispersa por el aire y se almacena en el agua, el suelo y la atmósfera, y se redistribuye entre estos depósitos dependiendo de los parámetros ambientales, la fuente de emisión y el sitio de vertimiento. Por ejemplo, un incremento en las concentraciones de mercurio en el aire del ambiente produce un aumento en la exposición directa de los seres humanos y en el flujo de mercurio que entra en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Los sedimentos contaminados en el fondo de las aguas superficiales pueden constituir un importante depósito de mercurio. En el suelo, el mercurio tiene un largo tiempo de retención y, en consecuencia, una vez acumulado, puede seguir liberándose en las aguas superficiales y en otros medios durante largos períodos (8).

Actualmente, las emisiones de mercurio provienen de cuatro fuentes principales: liberaciones naturales; liberaciones producidas por el hombre como resultado de la movilización de impurezas de mercurio en materias primas (carbón, gas y petróleo); liberaciones producidas por el hombre como resultado del uso intencional de mercurio en productos y procesos productivos, así como de nuevas movilizaciones de liberaciones del mercurio depositado en suelos, sedimentos, masas de agua y vertederos, o acumulado en desechos o residuos (4,9,10) producidos por el hombre en el pasado.

Correspondencia:

Isabel Cristina Casas, Avenida 8N N° 22AN-15, Cali, Colombia  
Teléfono-fax: (572) 653 4141  
isabel.casas@fundacionfes.org

Recibido: 04/07/14; aceptado: 28/11/14

Por ello, hoy hay gran cantidad y diversidad de grupos de población expuestos al mercurio de forma directa o indirecta (5,11-15).

El mercurio y sus compuestos son tóxicos para los humanos, especialmente para el sistema nervioso. La exposición durante el embarazo puede alterar el desarrollo del cerebro, el sistema circulatorio y el corazón del feto. Además, existe evidencia sobre la asociación entre la exposición a los compuestos de mercurio y el cáncer (8,16-19). Todo esto ha llevado a tomar medidas para minimizar su liberación en el ambiente y su incorporación a la cadena alimenticia, y así evitar sus efectos directos o indirectos en la salud humana (10,20-25). La efectividad de tales iniciativas depende, fundamentalmente, de la identificación y focalización de las poblaciones más vulnerables, así como de las principales fuentes de exposición, y de la modificación de técnicas de explotación minera y de producción de bienes y servicios (26).

Hasta el momento, en Colombia ha habido intervenciones aisladas en los departamentos de Antioquia, Nariño, Valle del Cauca, Cauca, Bolívar y Putumayo a través de los centros ambientales mineros, las cuales se han centrado en el proceso de explotación minera (27-37). En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue presentar los resultados de un proyecto encaminado a concertar los lineamientos para el desarrollo de una política pública integral, con el propósito de mitigar los efectos del mercurio sobre la salud en Colombia.

### **Materiales y métodos**

El proyecto se desarrolló en dos fases. En la primera se hizo un análisis crítico de la 'evidencia' científica, normativa y técnica de la problemática del mercurio a nivel nacional e internacional, y sobre su efecto en la salud y en otros ámbitos relacionados. En la segunda fase se convocaron personas e instituciones interesadas en el tema para compartir y validar la evidencia encontrada, concertar los lineamientos de la política y estructurar un plan de investigación aplicada que permita identificar las poblaciones en riesgo y el soporte del diseño, la implementación y la vigilancia de estrategias, para promover el adecuado uso y la disposición final de residuos con mercurio, prevenir la exposición humana y controlar los efectos de este metal sobre la salud.

El desarrollo de este proyecto siguió los pasos metodológicos de los modelos de planificación integral en salud, específicamente del modelo preceder-proceder (38,39).

Dado que la metodología de planificación integral de programas e intervenciones en salud, requiere de un diagnóstico situacional y de la identificación de los factores subyacentes que predisponen, refuerzan o facilitan la dinámica del problema en lo relativo a las poblaciones, se hizo inicialmente una revisión sistemática de la literatura científica nacional e internacional publicada en bases de datos y revistas científicas, además de la literatura gris cuyos resultados tuvieran que ver con la descripción, explicación e intervención de la contaminación con mercurio para disminuir sus efectos en la salud humana.

La revisión de la literatura científica siguió los lineamientos de la metodología Cochrane (40,41) y, a partir de ella, se hizo un análisis crítico de la 'evidencia' en torno a la problemática del mercurio en el país. De esta manera, se identificaron publicaciones relacionadas con los efectos y los riesgos de la exposición al mercurio vistos desde el ámbito de la salud humana, la salud ocupacional y la salud ambiental, el marco normativo y las políticas públicas en el contexto nacional e internacional, así como de los programas e intervenciones implementados a nivel nacional e internacional para la prevención, el control, la vigilancia y la mitigación de la exposición a los factores de riesgo (40).

Los documentos incluidos en la revisión cumplieron con los siguientes criterios de selección: documentos internacionales publicados a partir de 2001 y documentos nacionales publicados a partir de 1990; estudios observacionales nacionales e internacionales; revisiones sistemáticas de la literatura científica; documentos técnicos nacionales e internacionales que incluyeran modelos de intervención; documentos legales y normativos; documentos publicados en bases de datos especializadas en salud y ambiente, y documentos publicados en páginas oficiales de organismos nacionales e internacionales relacionados con el tema.

Además, para la selección de documentos se consultó el factor de impacto de las revistas registrado en el *Journal Citation Report*. La decisión de incluir o no un documento recopilado estuvo a cargo de dos evaluadores (42). Igualmente, se buscó la participación de autores nacionales reconocidos por su trabajo en el tema, para disminuir la probabilidad de un sesgo de publicación.

Las fuentes de información para la identificación de las publicaciones fueron las bases de datos electrónicas, las listas de referencias y la búsqueda

manual de documentos. La búsqueda en bases de datos de publicaciones científicas se hizo mediante los términos "mercury and public health" y "mercury environmental pollution", incluidos en el *Medical Subject Headings* (MeSH). Las bases de datos consultadas fueron las siguientes: *Web of Science*, Scopus, Springer, Elsevier, SciELO, VSPCOL, y portales de información sobre la legislación nacional e internacional. También se consultaron manualmente bases de datos y documentos técnicos en universidades colombianas, así como documentos técnicos no publicados de organismos nacionales y regionales.

La calidad de los documentos incluidos en la revisión, se evaluó con base en los siguientes criterios: para los estudios originales, se utilizó la lista de verificación de STROBE (*Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*) (43), y para las revisiones sistemáticas, la de CASP (*Critical Appraisal Skills Programme*) (44). Para las propuestas de intervenciones, se utilizó el análisis de prioridades que propone la metodología de planificación integral (45). Aquellos documentos que no superaron el 70 % de la puntuación en el cumplimiento de los criterios de calidad, se excluyeron de la revisión.

La interpretación de los resultados de las publicaciones incluidas en la revisión tuvo en cuenta la solidez de la evidencia, su suficiencia, la aplicabilidad de las propuestas de intervención en el contexto colombiano, la identificación de acciones prioritarias y las necesidades de investigación a nivel nacional.

Una vez finalizada la primera fase, se evaluó el contexto político-administrativo en el cual operaría el programa o la política y se desarrollarían los planes de implementación, la vigilancia y la evaluación de la efectividad y el impacto, mediante foros con expertos nacionales e internacionales en los cuales se discutieron y profundizaron los hallazgos de la revisión de la literatura científica como base de los acuerdos en torno a los lineamientos de un plan nacional que contemple estrategias de promoción, prevención, control y mitigación de los efectos del mercurio sobre la salud. Además, en esta fase se concertó un plan de investigación aplicada para generar la evidencia que respalde el diseño de las estrategias e intervenciones en el contexto colombiano.

## Resultados

En las bases de datos electrónicas se identificaron 292 documentos en los campos de salud pública, ocupacional y ambiental. De acuerdo con los criterios

de selección, así como de los títulos y resúmenes, se consideró que 110 de estos documentos no guardaban relación con los objetivos del proyecto y, una vez evaluadas la calidad y la pertinencia de los restantes, se excluyeron 57 (figura 1). En cuanto a la búsqueda en universidades e instituciones regionales de Colombia, esta resultó en la inclusión de otros 35 documentos en la revisión.

**Mercurio y salud pública**

En el ámbito nacional, la mayoría de las investigaciones se habían llevado a cabo en Antioquia, la Costa Atlántica y Santander, y en ellas los pescadores y los mineros aparecían como los grupos de población con mayor exposición y concentración de mercurio y, como principal factor de riesgo, el consumo de pescado o mamíferos marinos.

Además, en las investigaciones hechas en Colombia se ha establecido la asociación entre la exposición al mercurio y los efectos en la salud como la cefalea, las náuseas, las lesiones de la mucosa oral, la pérdida de la memoria, los cambios emocionales (depresión y ansiedad), las alteraciones neurológicas, la amnesia y el insomnio. En estas investigaciones no se han encontrado diferencias debidas a la edad o el sexo, y tampoco se ha podido establecer una tendencia predominante de los efectos en la salud,

lo cual podría explicarse porque en ellos se han utilizado distintas metodologías para seleccionar la población de estudio, al igual que biomarcadores diferentes, y se han evaluado diversos efectos en salud (27,34,45-47) (Pradilla G, Vega E, Gamboa N. Estudio neuroepidemiológico y neurotoxicológico de una población minera con exposición crónica al mercurio. Seminario Internacional sobre Clínica del Mercurio, Bogotá, D.C.: Academia Nacional de Medicina; 1991). En el apéndice 1, disponible en: doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2458>, se presentan las investigaciones realizadas en Colombia en la población minera, entre odontólogos y en la población general.

Por otra parte, todavía no existe un consenso científico internacional sobre el efecto en la salud de las vacunas que contienen mercurio, y tampoco existe suficiente evidencia que confirme el efecto cancerígeno y teratógeno del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos. Por el contrario, sí se encontró una asociación clara entre la exposición a compuestos orgánicos del mercurio y el cáncer. A pesar de la amplia discusión en torno al tema, en Colombia aún no se han publicado estudios que exploren la asociación entre la utilización de vacunas que contengan componentes de mercurio y el cáncer (48,49).

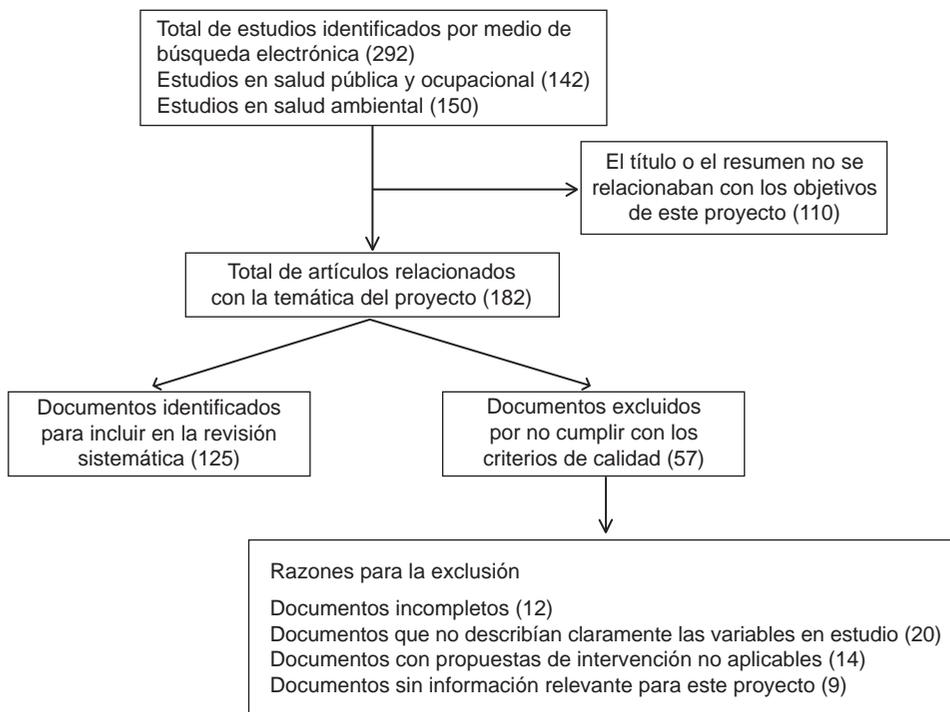


Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de los documentos evaluados

### **Mercurio y salud ambiental**

En Colombia, existen numerosas investigaciones en zonas como el Bajo Cauca, el nordeste de Antioquia, Chocó y el sur de Bolívar, por ser las principales áreas de liberación de mercurio en el país debido a la operación de sitios de minería de oro en pequeña y mediana escala (13,27-29,33,50).

No obstante, la mayoría de estos estudios están orientados a determinar las cantidades de mercurio presentes en el agua, el aire y en alimentos específicos, como el pescado. Por otra parte, existen investigaciones que aportan información sobre algunos usos del mercurio en Colombia, en especial en la minería y la odontología, las cuales han trazado un panorama general de las ocupaciones involucradas con el uso del mercurio y, por ende, con el riesgo de intoxicación por su manejo (50,51).

### **Normatividad**

En cuanto a la producción de desechos de mercurio y la comercialización de productos que lo contienen, en la revisión no se encontraron documentos sobre normatividad relacionada con la importación o exportación de productos con posible contaminación por mercurio (alimentos, medicamentos, productos de belleza), ni sobre regulaciones en torno al contenido de mercurio en los productos. Tampoco se encontraron documentos sobre estrategias gubernamentales de manejo, control y mitigación del impacto ambiental del mercurio en Colombia ni en otros países de América Latina.

### **Plan de intervenciones**

De acuerdo con los hallazgos de la revisión, se concluyó que el panorama actual del conocimiento en torno a la problemática del mercurio en Colombia generaba múltiples interrogantes que debían responderse adecuadamente, por lo que se elaboró un plan de intervención con diferentes líneas de acción: gestión tecnológica para la prevención de la exposición al mercurio; fortalecimiento institucional frente a la prevención y control de la exposición a mercurio para disminuir los efectos en salud; fortalecimiento del diagnóstico y la atención en salud de la exposición a mercurio, y educación en salud y generación de conocimiento sobre los riesgos del mercurio. En el plan de intervenciones se incluyeron los tres componentes fundamentales abordados en este proyecto: salud pública, salud ambiental y salud ocupacional.

Para cada una de estas líneas de acción, se propusieron estrategias cuya ejecución se respaldó con un análisis de la viabilidad técnica, tecnológica, jurídica y financiera. Además, para cada estrategia se diseñaron indicadores que permitieran su seguimiento y evaluación.

### **Discusión**

De acuerdo con la evidencia recopilada, en Colombia la evaluación del riesgo por exposición a mercurio se centra en personas que están expuestas ocupacionalmente, como mineros y sus familiares, profesionales, estudiantes y auxiliares de odontología, trabajadores de compraventas de oro y pescadores. Sin embargo, la mayoría de los estudios se refiere a la población minera, dejando de lado grupos vulnerables biológicamente, como las mujeres embarazadas, los escolares residentes en áreas contaminadas, y la población general con hábitos de consumo y utilización de productos que contienen mercurio.

Por lo anterior, es recomendable diseñar estudios que permitan una identificación más completa de las poblaciones y regiones más vulnerables a la intoxicación por este metal en todo el territorio nacional, así como establecer las tendencias espaciales de ocurrencia y determinar la interacción con otros contaminantes. La focalización y la vigilancia de estas poblaciones han sido esenciales para identificar las principales fuentes de exposición y para la implementación de estrategias efectivas de mitigación de los efectos del mercurio en algunos países (52-57).

Para elevar la cobertura de la vigilancia de la exposición a este metal en Colombia, es fundamental fortalecer la capacidad de los trabajadores de la salud para el diagnóstico precoz, el tratamiento apropiado y la rehabilitación de personas expuestas a los efectos tóxicos del mercurio. Además de la vigilancia de personas, es necesario implementar estrategias para vigilar las concentraciones del mercurio en el ambiente o en los sitios de trabajo de los grupos vulnerables que se identifiquen. Con ello, se podría mejorar la detección oportuna de las principales fuentes y ejecutar acciones para contener o evitar las emisiones antes de que se produzca un daño a la salud. Tanto la vigilancia de personas como la del ambiente, necesitan de la infraestructura y la coordinación con los laboratorios de salud pública.

La identificación del tipo y la cantidad de fuentes de exposición al mercurio en Colombia es esencial para desarrollar programas de investigación

aplicada para el desarrollo de intervenciones apropiadas, efectivas y con costo razonable, orientadas al control de las emisiones en sitios piloto. Este tipo de investigación es fundamental para que las políticas, planes y programas encaminados a mitigar la exposición y los potenciales efectos del mercurio sobre la salud en Colombia, cuenten con estrategias respaldadas por datos comprobados localmente y cuyo costo-efectividad sea conocido antes de su aplicación a gran escala. Hoy ya están identificadas la minería y determinadas especies de pescados, como fuentes de exposición en algunas poblaciones colombianas (28,31,47,58,59), por lo que es necesario diseñar intervenciones integrales que incluyan la promoción, la prevención, el control y la mitigación de sus posibles efectos en la salud.

### Conflicto de intereses

Los autores manifestamos haber mantenido una posición independiente con respecto a las instituciones financiadoras. También, expresamos que durante la ejecución del estudio y la escritura del manuscrito no hubo conflicto de intereses.

### Financiación

Este proyecto fue financiado por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

### Referencias

- Berglund M, Lind B, Bjornberg KA, Palm B, Einarsson O, Vahter M.** Inter-individual variations of human mercury exposure biomarkers: A cross-sectional assessment. *Environ Health.* 2005;4:20. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-069X-4-20>
- Comisión de las Comunidades Europeas.** Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo: estrategia comunitaria sobre el mercurio. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas; 2005.
- Johnson CL.** Mercury in the environment: sources, toxicities, and prevention of exposure. *Pediatr Ann.* 2004;33:437-42.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.** Evaluación mundial sobre el mercurio. Ginebra: PNUMA Productos Químicos; 2005. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>.
- Arana-Zegarra M.** El caso del derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta. *Rev Peru Med Exp Salud Pública.* 2009;26:113-8.
- Lee R, Middleton D, Caldwell K, Dearwent S, Jones S, Lewis B, et al.** A review of events that expose children to elemental mercury in the United States. *Environ Health Perspect.* 2009;117:871-8. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.0800337>
- Poulin J, Gibb H.** Mercury: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva: World Health Organization; 2008.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.** Evaluación mundial sobre el mercurio. Ginebra: PNUMA Productos Químicos; 2002. Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20report/assessment-report-summary-spanish-final.pdf>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.** Módulo 3: El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. Ginebra: PNUMA; 2008.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.** Análisis de los costos en función de los beneficios de las alternativas existentes para los productos, los procesos y las tecnologías que se basan en el mercurio. Ginebra: PNUMA; 2010.
- Álvarez-Fermín LA, Rojas LA.** Contenido de mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas El Plomo y El Casabe - Estado Bolívar. *Universidad Ciencia y Tecnología.* 2009;13:97-102.
- Dórea J.** Making sense of epidemiological studies of young children exposed to thimerosal in vaccines. *Clin Chim Acta.* 2010;411:1580-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cca.2010.07.008>
- Veiga M.** Antioquia, Colombia: The world's most polluted place by mercury: Impressions from two field trips. United Nations Industrial Development Organization UNIDO: University of British Columbia; 2010. Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2013. Disponible en: [http://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2011/05/final\\_revised\\_feb\\_2010\\_veiga\\_antioquia\\_field\\_trip\\_report.pdf](http://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2011/05/final_revised_feb_2010_veiga_antioquia_field_trip_report.pdf).
- Holmes P, James K, Levy L.** Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? *Sci Total Environ.* 2009;408:171-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.043>
- Bates MN, Fawcett J, Garrett N, Cutress T, Kjellstrom T.** Health effects of dental amalgam exposure: A retrospective cohort study. *Int J Epidemiol.* 2004;33:894-902. <http://dx.doi.org/10.1093/ije/dyh164>
- Axelrad D, Bellinger D, Ryan L, Woodruff T.** Dose-response relationship of prenatal mercury exposure and IQ: An integrative analysis of epidemiologic data. *Environ Health Perspect.* 2007;115:609-15. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.9303>
- Counter SA, Buchanan G.** Blood mercury and auditory neurosensory responses in children and adults in the Nambija gold mining of Ecuador. *Neurotoxicology.* 1998;19:185-96.
- Choi AL, Weihe P, Budtz-Jørgensen E, Jørgensen PJ, Salonen JT, Tuomainen T-P, et al.** Methylmercury exposure and adverse cardiovascular effects in Faroese whaling men. *Environ Health Perspect.* 2009;117:367-72. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.11608>
- Budtz-Jørgensen E, Keiding N, Grandjean P, Weihe P.** Estimation of health effects of prenatal methylmercury exposure using structural equation models. *Environ Health.* 2002;1:2. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-069X-1-2>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Universidad de Antioquia.** Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; 2010. Fecha de consulta: 4 de abril de 2014.

- Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Inventario\\_Cuantificacion\\_Mercurio.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Inventario_Cuantificacion_Mercurio.pdf).
21. **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.** Gestión del Ministerio de Ambiente en el tema de minería y desarrollo sostenible. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombia; 2012.
  22. **US Environmental Protection Agency.** Water quality criterion for the protection of human health: Methylmercury. 2001. Fecha de consulta: 12 de abril de 2014. Disponible en: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/methylmercury.cfm>.
  23. **World Health Organization.** Global advisory committee on vaccine safety. Statement on thiomersal. 2006. Fecha de consulta: 5 de febrero de 2014. Disponible en: [http://www.who.int/vaccine\\_safety/committee/topics/thiomersal/statement\\_jul2006/en/](http://www.who.int/vaccine_safety/committee/topics/thiomersal/statement_jul2006/en/).
  24. **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA.** Informe del comité intergubernamental de negociación encargado de elaborar un instrumento jurídicamente vinculante a nivel mundial sobre el mercurio. Acerca de la labor realizada en su primer período de sesiones. Junio 2010. Fecha de consulta: 5 de febrero de 2014. Disponible en: [www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury).
  25. **Gobierno de Chile - Comisión Nacional de Medio Ambiente.** Plan Nacional de Gestión de Riesgos del Mercurio. 2008. Fecha de consulta: 2 de marzo de 2013. Disponible en: [http://www.bdlaw.com/assets/htmldocuments/CHILE\\_-\\_National\\_Plan\\_for\\_Management\\_of\\_Risks\\_of\\_Mercury.PDF](http://www.bdlaw.com/assets/htmldocuments/CHILE_-_National_Plan_for_Management_of_Risks_of_Mercury.PDF).
  26. **Organización Panamericana de la Salud.** Cooperación técnica entre Brasil, Bolivia y Colombia: teoría y práctica para el fortalecimiento de la vigilancia de la salud de poblaciones expuestas a mercurio. Primera edición. La Paz: OPS; 2011. p. 99.
  27. **Sandoval Y.** Determinación de alteraciones neuro-comportamentales en personas adultas expuestas crónicamente a mercurio en la población de Segovia, Antioquia 2005. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia; 2006.
  28. **Olivero-Verbel J, Ropero-Vega J, Ortíz-Rivera W, Vera-Ospina P, Torres-Fuentes N, Montoya-Rodríguez N.** Air mercury levels in a pharmaceutical and chemical sciences school building. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2006;76:1038-43. <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-006-1022-y>
  29. **Marrugo-Negrete J, Benítez LN, Olivero-Verbel J.** Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in northern Colombia. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2008;55:305-16. <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-007-9129-7>
  30. **Marrugo-Negrete J, Verbel JO, Ceballos EL, Benítez LN.** Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environ Geochem Health.* 2008;30:21-30. <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-007-9104-2>
  31. **Olivero-Verbel J, Johnson-Restrepo B, Baldiris-Avila R, Guette-Fernández J, Magallanes-Carreazo E, Vanegas-Ramírez L, et al.** Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: Impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environ Int.* 2008;34:476-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2007.10.009>
  32. **Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Torres-Fuentes N.** Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. *Int J Environ Health Res.* 2009;19:343-55. <http://dx.doi.org/10.1080/09603120902749090>
  33. **Marrugo-Negrete J, Benítez LN, Olivero-Verbel J, Lans E, Gutiérrez FV.** Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana region, Colombia. *Int J Environ Health Res.* 2010;20:451-9. <http://dx.doi.org/10.1080/09603123.2010.499451>
  34. **Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Negrete JM.** Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolívar, North of Colombia. *Biol Trace Elem Res.* 2011;144:118-32. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-011-9046-5>
  35. **Ruiz JA, Pérez JI, Gómez GJ, Carmona ME, Zapata LA, Carmona C R.** Riesgo en el manejo de la amalgama dental en las entidades odontológicas medianas y pequeñas en el departamento de Antioquia. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública.* 2009;27:187-97.
  36. **Ruiz JA, Gómez GJ, Durán CJ, Villa VM, Zapata LA, Parra CM, et al.** Contribución de las condiciones locativas y ambientales al riesgo de contaminación con mercurio en las entidades odontológicas de Antioquia. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública.* 2008;26:164-8.
  37. **Vargas M, Quiroz C.** Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública.* 2011;29:461-8.
  38. **Gielen A, McDonald E, Gary T, Bone L.** Using the precede-proceed model to apply health behavior theories. En: Glanz K, Rimer B, Lewis F, editores. *Health behaviour and health education: Theory, research, and practice.* 3rd edition. San Francisco: Jossey-Bass; 2008. p. 407-33.
  39. **Pineault R.** The place of prevention in the Québec health care system. *Can J Public Health.* 1984;75:92-7.
  40. **Centro Cochrane Iberoamericano.** Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones, versión 5.1.0 Barcelona: Centro Cochrane Iberoamericano; 2012.
  41. **Akobek A.** Understanding systematic reviews and meta-analysis. *Arch Dis Child.* 2005;90:845-8. <http://dx.doi.org/10.1136/adc.2004.058230>
  42. **Schlesselman J, Collins J.** Evaluating systematic reviews and meta-analysis. *Semin Reprod Med.* 2003;21:96-105. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2003-39999>
  43. **VonElm E, Altman D, Egger M.** Strengthening the report of observational studies in epidemiology. *Gaceta Sanitaria.* 2008;22:144 - 50.
  44. **Oxman A.** User's guide to medical literature. How to use an overview. *JAMA.* 1994;272:1367-71. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.1994.03520170077040>
  45. **Simon HA, Newell A.** Planning methods for health and related organizations. Toronto: Jhon Wiley; 1984.
  46. **Idrovo A, Manotas L, Villamil G.** Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquía colombiana). *Biomédica.* 2001;21:134-41. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v21i2.1101>
  47. **Olivero J, Mendoza C, Mestre J.** Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. *Rev Saude*

- Pública. 1995;29:376-9. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89101995000500006>
48. **US Food and Drug Administration.** Thimerosal in vaccines. 2010. Fecha de consulta: 25 de octubre de 2013. Disponible en: <http://www.fda.gov/BiologicsBloodVaccines/SafetyAvailability/VaccineSafety/UCM096228>.
  49. **Heron J, Golding J.** Thimerosal exposure in infants and development disorders: A prospective cohort study in the UK does not support a causal association. *Pediatrics*. 2004;114:577-83. <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2003-1176-L>
  50. **Madero A, Marrugo J.** Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 2011;16:2391-401.
  51. **Gracia H, Marrugo J, Alvis E.** Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*. 2010;28:118-24.
  52. **Basu N, Tutino R, Zhang Z, Cantonwine DE, Goodrich JM, Somers EC, et al.** Mercury levels in pregnant women, children, and seafood from Mexico City. *Environ Res*. 2014;135:63-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2014.08.029>
  53. **Cullen E, Evans DS, Davidson F, Burke P, Burns D, Flanagan A, et al.** Mercury exposure in Ireland: Results of the DEMOCOPHES human biomonitoring study. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11:9760-75. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph110909760>
  54. **Liberda EN, Tsuji LJ, Martin ID, Ayotte P, Dewailly E, Nieboer E.** The complexity of hair/blood mercury concentration ratios and its implications. *Environ Res*. 2014;134:286-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2014.08.007>
  55. **Bashore CJ, Geer LA, He X, Puett R, Parsons PJ, Palmer CD, et al.** Maternal mercury exposure, season of conception and adverse birth outcomes in an urban immigrant community in Brooklyn, New York, U.S.A. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11:8414-42. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph110808414>
  56. **Danaei M, Karimzadeh P, Momeni M, Palenik CJ, Nayebi M, Keshavarzi V, et al.** The management of dental waste in dental offices and clinics in Shiraz, Southern Iran. *Int J Occup Environ Med*. 2014;5:18-23.
  57. **Schmeltz D, Evers DC, Driscoll CT, Artz R, Cohen M, Gay D, et al.** MercNet: A national monitoring network to assess responses to changing mercury emissions in the United States. *Ecotoxicology*. 2011;20:1713-25. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-011-0756-4>.
  58. **Arrázola A.** Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena, Colombia. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
  59. **Sánchez JM.** Evaluación de la concentración de mercurio en diversas marcas de atún enlatado comercializadas en la ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena de Indias: Universidad Nacional de Colombia; 2011.

**Apéndice 1.** Listado de investigaciones en Colombia en torno a la problemática del mercurio**Investigaciones en poblaciones mineras**

Nombre	Autor	Año	Tipo de estudio	Objetivo	Población	Resultados	Fortalezas	Debilidades
Estudio neuroepidemiológico y neurotóxico de una población minera con exposición crónica al mercurio	Gustavo Pradilla, Esperanza Vega, Nelson Gamboa	1991	Transversal	Determinar si la exposición crónica al mercurio en el ambiente es un factor de riesgo de enfermedades neurológicas en la población minera del río Suratá (Santander)	Población expuesta: mineros, familiares y vecinos; no expuesta: población general de Suratá (Santander).	El promedio de las concentraciones de mercurio en sangre no superaban la norma; sin embargo, existían diferencias estadísticamente significativas entre expuestos y no expuestos. En los expuestos, el consumo de agua no tratada superaba en gran medida la norma. La prevalencia de los eventos fue mayor en el grupo de estudio, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Se encontró asociación de los niveles en sangre con las enfermedades del sistema extrapiramidal y la migraña.	El gran tamaño de la muestra; la evaluación ambiental (agua tratada y no tratada), biológica y de salud, y el adecuado procesamiento estadístico.	No se indicó cómo se seleccionaron los participantes, ni como se estableció el tamaño de la muestra, la confiabilidad de los datos (toma de muestras, medición, enmascaramiento), los sesgos y los factores de confusión.
Determinación de alteraciones neurocomportamentales en personas adultas expuestas crónicamente a mercurio en la población del municipio de Segovia, Antioquia, 2005	Yolanda Sandoval Gil	2006	Transversal	Establecer la prevalencia de las alteraciones neurológicas y de comportamiento en las personas expuestas crónicamente a mercurio en el municipio de Segovia, Antioquia	860 personas mayores de 15 años entre mineros y otros de Segovia, Antioquia	El 15,2 % de las personas evaluadas tenían concentraciones de mercurio en cabello $\geq 5$ $\mu\text{g/g}$ . La prevalencia de síntomas subjetivos en esta población fue alta, de 9,5-44,5, y la de síntomas neurológicos y psiquiátricos, de 10,3-63,5; la prevalencia fue menor en el grupo de personas con niveles de mercurio $\geq 5$ $\mu\text{g/kg}$ , aunque no se presentaron diferencias significativas, lo que sugiere que se ha generado tolerancia.	Hace una buena descripción de la población estudiada. La metodología es clara. Tiene un buen marco muestral. Evalúa diferentes efectos neurocomportamentales	Incurre en sesgo de voluntario. El tamaño de la muestra se calculó mediante un MAS, pero se llevó a cabo un MAC. Interpretación errónea de OR.
Medición de las concentraciones de mercurio y controles ambientales en la quema de amalgamas provenientes de la minería	Jairo Ruiz, Héctor Sánchez, Carlos Parra	2006	Transversal		Trabajadores de compraventas de Antioquia	Niveles 14 veces por encima de la norma. En compraventas: 192,2-679,28 mg/m <sup>3</sup> , en calles: 315,97-16,1, y en orina: 47-420	La medición se efectuó en orina.	El tamaño de la muestra es pequeño. No se indica cómo se seleccionaron los participantes, cómo se estableció el tamaño de la muestra, la confiabilidad de los datos (toma de muestras, medición, enmascaramiento), los sesgos y los elementos de confusión.
Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia	Jesús Olivero, Claudia Mendoza, Judith Mestre	1995	Transversal	Determinar la magnitud de la contaminación por mercurio entre la población del sur de Bolívar según su ocupación y la incidencia de la misma sobre su salud	219 habitantes del sur de Bolívar y 27 personas de Cartagena como grupo control	Se encontraron diferencias en la concentración de mercurio en cabello según la ocupación así: pescadores (5,23 $\pm$ 5,78) > mineros (2,83 $\pm$ 3,27) > otras actividades (2,40 $\pm$ 2,02) > grupo control (1,33 $\pm$ 0,74). Estas fueron estadísticamente significativas en pescadores comparados con otros grupos. No se registraron diferencias por sexo y edad.	Conclusiones sobre un aspecto que no se evalúa con frecuencia.	No se especifica el tipo de estudio, objetivo, parámetros para el cálculo de la muestra, método de recolección ni tipo de muestreo usado.
Alteraciones neuropsicológicas por exposición ocupacional a vapores de mercurio en El Bagre (Antioquia, Colombia)	Tirado V, García MA, Moreno LM, <i>et al.</i>	2000	Transversal	Determinar si los mineros de El Bagre (Antioquia, Colombia) tienen alteraciones neuropsicológicas o de comportamiento como resultado de exposición ocupacional a vapor de mercurio tóxico	Casos: 22 varones sanos expuestos ocupacionalmente por más de tres años. Controles: 22 varones sanos no expuestos al mercurio pareados con casos por edad y escolaridad	En el grupo de casos se encontraron efectos de daño intelectual (alteración de algunas funciones neuropsicológicas), cambios emocionales (ansiedad y depresión) y neurológicos (amnesia, insomnio y temblor en la lengua), con diferencias estadísticamente significativas, comparado con el grupo control, en el que no se observaron efectos. No se presentaron diferencias en ninguna de las pruebas	Apareamiento entre casos y controles. Metodología claramente definida. Uso de batería de pruebas para evaluación neuropsicológica. Sugiere la realización de una nueva investigación en la que se correlacionen los resultados de las pruebas con biomarcadores	No se establece el tipo de estudio, cálculo del tamaño de muestra, metodología de selección de los participantes.
Alteraciones comportamentales y de personalidad debido a la exposición ocupacional a mercurio en un grupo de mineros del oro de la región del Bagre Antioquia	Jhony Alberto Moreno Requena	2008	Descriptivo	Evaluar alteraciones del comportamiento y de personalidad en 25 personas ocupacionalmente expuestas a la contaminación e intoxicación por mercurio metálico en el municipio de El Bagre	25 habitantes de El Bagre expuestos ocupacionalmente con edades entre 20 y 55 años	Se sugirió que la exposición al mercurio genera alteraciones del comportamiento y la personalidad.	Aplicación de diferentes cuestionarios para determinar los efectos en salud (batería de pruebas de personalidad del tipo del test EPQ-RA sobre alteraciones comportamentales y del Cuestionario de Síntomas Neurológicos y Psicológicos (PNF) y el Cuestionario de Síntomas y Evaluación subjetiva de toxicidad (Hänninen) y la Escala Sintomática de Estrés (S.S.S.) Seppo Aro, versión 2, 1987	No se especifica cómo se seleccionó la muestra ni el tamaño, aunque parece que fue por conveniencia. Procesamiento y presentación inadecuada de la información.
Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guanía (Orinoquia colombiana)	Álvaro Idrovo, Luis Manotas, Gladys Villamil, <i>et al</i>	2001	Exploratorio	Determinar los niveles de mercurio en cabello y sangre en una población minera del departamento del Guanía y la percepción que tiene dicha población sobre el riesgo de usar este elemento	78 residentes de la región relacionados con la minería que consumieran pescado y agua. En el análisis se dividió según grupo expuesto: individuos directamente involucrados en labores de minería y grupos indirectamente expuestos, como familiares o personas que realizaban otras actividades en el caserío	Se encontraron concentraciones de mercurio en sangre de 59,16 $\mu\text{g/L}$ en promedio (6,9-168), y de 26,93 $\mu\text{g/g}$ (3,0-89,2) en cabello entre los mineros, mientras que en la población expuesta indirectamente se redujeron los niveles, aunque sin diferencias estadísticamente significativas: 53,5 y 22,86 en sangre y pelo, respectivamente. Se evidenció cómo se contamina el ecosistema posiblemente debido a los déficits en el ambiente laboral y a la falta de conocimiento del riesgo ecológico. Los pobladores tienen conocimientos insuficientes sobre el metal, a pesar de que perciben el riesgo.	Asume el alcance del estudio, especificando que los resultados encontrados pueden servir como indicio de una probable amenaza para la salud de los residentes en la Orinoquia colombiana. Evaluación de percepción del riesgo	Sesgo de voluntario
Contaminación por mercurio de la minería artesanal de oro en Antioquia, Colombia: La contaminación per cápita más cara del mundo	Paul Cordy, Marcello Veiga, Ibrahim Salih, <i>et al.</i>	2001	Revisión documental	Obtener información acerca de los métodos de producción de oro y vías de liberación de mercurio al medio ambiente en los municipios de Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre y Nechí	Datos de importaciones y venta de mercurio, proveedores y consumidores de mercurio	En el 2009, 11 empresas importaron legalmente 130 ton de mercurio metálico. En Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre y Nechí existen 323 entables que producen entre 10 y 20 toneladas de oro. Teniendo en cuenta la cantidad promedio de mercurio consumido, según el balance y las entrevistas a los propietarios de los entables, la cantidad estimada de mercurio en estos entables corresponde a 93 toneladas. Las concentraciones en el aire urbano oscilan entre 300 (ambiente) y 1 millón de ng/m <sup>3</sup> (dentro de las tiendas de oro); en áreas residenciales la concentración más común es de 10.000 ng/m <sup>3</sup> , cuando el límite ocupacional según la OMS es de 1.000 ng/m <sup>3</sup> . La liberación y emisión de mercurio total en Colombia pueden alcanzar las 150 toneladas, dándole al país la deshonrosa posición del primer país del mundo con mayor contaminación de mercurio per cápita por minería artesanal. Se sugiere una intervención gubernamental urgente para la erradicación del suministro de mercurio a los entables. Se deben retirar los entables de los centros urbanos; se debe mejorar la tecnología, y reducir las emisiones por medio de asistencia técnica.	Se da información concreta acerca de la cantidad de mercurio usado y emitido para el beneficio de oro. Corroboración de datos suministrados por entidades legales con entrevistas de usuarios. Además, se hicieron mediciones ambientales (aire).	Se hizo un muestreo por conveniencia, sin embargo, se recomienda un sistemático para empresarios y mineros.
Distribución de mercurio en diferentes componentes ambientales en un ecosistema acuático impactado por la minería de oro en el norte de Colombia	José Marrugo, Luis Norberto Benítez, Jesús Olivero	2007	Transversal	Determinar los niveles de Hg en diferentes matrices ambientales en este ecosistema y evaluar los cambios en la distribución del Hg a lo largo de diferentes sitios de muestreo y estaciones, así como evaluar la exposición ambiental y humana	Humanos, sedimentos, agua, plancton, peces y seston	Se encontraron niveles de T-Hg en agua, sedimentos, seston, fitoplancton y zooplancton de 0,33, 0,71, 1,20, 0,52 y 0,94, respectivamente. Los mayores valores se encontraron en temporada seca. Se encontraron diferencias de acuerdo con la posición trófica.	Inclusión de especies en diferentes matrices ambientales y en humanos. Buen procesamiento	No se especifica el tipo de estudio.

**Investigaciones en poblaciones de odontólogos**

Nombre	Autor	Año	Tipo de estudio	Objetivo	Población	Resultados	Fortalezas	Debilidades
Determinación de los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas en Cartagena, Colombia	Armida María Arrázola Díaz	2011	Transversal	Determinar los niveles de mercurio en el aire de consultorios y clínicas odontológicas de la ciudad de Cartagena, Colombia	64 consultorios clínicos en los que se evaluaron aire, escupidera y mesón	El 51 % de los consultorios tenía niveles por encima de lo recomendado por la EPA (300 ng/m <sup>3</sup> ), encontrándose una concentración promedio de 1206 $\pm$ 142 en aire. El 59 % de las escupideras superaba la norma (2.538 $\pm$ 879). El 51 % de los mesones superaba la norma, encontrándose un promedio de 2116 $\pm$ 1551 ng/m <sup>3</sup> en ellas. Cuando había pacientes, la concentración en los mesones alcanzaba 11394 $\pm$ 13,9.	Rigurosidad en las evaluaciones. Buenas conclusiones, recomendaciones e ideas de investigación	No se especifica cómo se hizo la selección de las clínicas o consultorios. Poco alcance de los objetivos y el procesamiento
Riesgo en el manejo de la amalgamación dental en las entidades odontológicas medianas y pequeñas en el departamento de Antioquia, Colombia	Jairo Ruiz, Jorge Pérez, Gabriel Gómez, <i>et al.</i>	2009	Transversal	Describir y caracterizar las actividades relacionadas con el manejo del mercurio, la amalgama y sus residuos en 107 entidades prestadoras de servicios de salud oral	Entidades prestadoras de servicios en salud oral clasificadas como medianas y pequeñas (con menos de cinco sillas o unidades odontológicas en el mismo sitio de trabajo)	El 46 % de las instituciones presentaba riesgo alto o muy alto. Las personas que habían tenido niveles anormales no habían recibido ningún tratamiento. Se evidenció desconocimiento sobre el tema, por lo que se recomendó implementar acciones integrales y metodológicas seguras a corto plazo, con el fin de reducir el riesgo para el personal, pacientes y ecosistema.	Levantamiento del marco muestral. Censo. Población evaluada	Se analiza información sobre biomarcadores reportada por los encuestados.
Contribución de las condiciones locativas y ambientales al riesgo de contaminación con mercurio en las entidades odontológicas de Antioquia	Ruiz Jairo, Gómez Gabriel, Durán Carlos, <i>et al.</i>	2008	Transversal	Describir las condiciones locativas y ambientales en 30 grandes entidades odontológicas del departamento de Antioquia	30 entidades odontológicas (85 % de la población) que tuvieran cinco o más sillas o unidades odontológicas en un mismo sitio de trabajo.	No todas las entidades grandes prestaban los servicios en instalaciones adecuadas ni tenían un buen manejo de las variables ambientales. En el 97 % de las entidades existía riesgo latente de contaminación por mercurio. En el 37 % de los lugares habían ocurrido derramamientos.	Evaluación de condiciones locativas y ambientales mediante cuestionario	No se explica claramente la metodología usada (selección, tipo de estudio, procesamiento estadístico). No se hizo muestreo completo.
Diagnóstico de los niveles de mercurio en empleados y estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia, 1999	Juan Escobar, Clara Escobar, Kahl Colimon, Merly Molano	2001	Prevalencia	Determinar la existencia de intoxicación biológica por mercurio mediante la cuantificación de este elemento en muestras de orina de 24 horas en estudiantes y profesores de odontología	Índice biológico de exposición en población laboral y estudiantil de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia	Las 192 muestras presentaron concentraciones inferiores a 30 mg (intoxicación) y el 1,6 % (3) tenía niveles $\geq 15$ mg, que es el valor límite para la población laboralmente expuesta. Las concentraciones más altas se presentaron entre estudiantes y docentes (6,04). Existía correlación positiva significativa entre el tiempo de exposición (semestre académico) y la concentración de mercurio y correlación negativa entre docentes y tiempo de haberse graduado.	Tamaño de muestra considerable (825). Evaluación de otra población: estudiantes de pregrado y postgrado, profesores, personal de oficios varios y auxiliares. Se tuvo un grupo control (estudiantes de primer semestre y otras carreras). Procesamiento estadístico interesante	No se muestra la comparación de los niveles de mercurio en sangre con los de uñas y cabello.
Manejo de la amalgama dental en consultorios odontológicos pequeños y medianos de Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello	Jairo Ruiz, Carlos Parra, Héctor Escobar, <i>et al.</i>	2004	Personas y consultorios	Caracterizar las variables ocupacionales relacionadas con el manejo del mercurio y los residuos de la amalgama en los consultorios odontológicos pequeños y medianos en Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello	Odontólogos y consultorios con una a siete sillas que utilizaran amalgama dental (800)	Se recomendó capacitar al personal odontológico para la realización de prácticas seguras. En cuanto a la situación ocupacional, el 46 % no se habían hecho pruebas en los últimos 5 años, de este porcentaje, el 4 % tenía niveles por encima de lo normal, aunque no presentaba intoxicación. El 86 % de los encuestados refirieron seguir un protocolo, aunque se comprobó que no era cierto. No informaban sobre presencia de síntomas.	Generación de marco muestral y cálculo del tamaño de muestra	Se analizan resultados de muestras que no fueron procesadas directamente por los investigadores del estudio.

**Investigaciones en la población general**

Nombre	Autor	Año	Tipo de estudio	Objetivo	Población	Resultados	Fortalezas	Debilidades
Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009	Lisy García, José Marrugo, Erasmo Alvis	2010	Transversal	Evaluar las concentraciones de mercurio total en cabello de habitantes del municipio de Ayapel (Córdoba) y en peces capturados en la ciénaga de Ayapel	112 pobladores ribereños de la ciénaga de Ayapel mayores de 14 años (cabello) y 45 peces (tejido muscular)	Las concentraciones en personas por encima de lo recomendado por la EPA en el grupo de estudio (2,18 $\pm$ 1,77), pero en el grupo de control estaba por debajo de la norma. Los síntomas con mayor prevalencia fueron la cefalea, la falta de energía y la irritabilidad. En los peces los niveles más altos se presentaron en la especie <i>Sorabin cuspicaudus</i> (0,74 $\pm$ 0,19). Se evidenció relación entre el consumo de pescado y los efectos en salud.	Evidencia sobre el riesgo en salud por el consumo de peces contaminados de la ciénaga de Ayapel. Uso de biomarcadores. Procesamiento estadístico adecuado	El cálculo del tamaño de la muestra no es adecuado, no se especifica la variabilidad usada ni cómo se seleccionaron las personas.
Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007	David Andrés Combariza Bayona	2009	Transversal	Describir la relación existente entre los niveles en sangre, las condiciones de salud de la población y la contaminación por metales pesados del embalse del Muña	Población de Sibaté, Cundinamarca, de 10 a 49 años de edad	La mayor exposición a los metales se dio por el consumo de frutas, verduras, carnes y leche provenientes de las cercanías del embalse. El consumo de pescado era bajo. Los síntomas más frecuentes relacionados con el Hg fueron: dolor de cabeza, alteraciones del humor, sensación de mareos, hormigueo en las manos, entre otros. El promedio de Hg en sangre fue de 4,06 $\mu\text{g/l}$ (1,7-13,5). Ningún participante presentaba niveles por encima de la norma, aunque en el 47,1 % de ellos había concentraciones bajas.	Se tuvieron en cuenta variables sociodemográficas, ocupacionales, antecedentes personales (antecedentes tóxicos y hábitos alimenticios), variables clínicas; se evaluaron otros metales aparte del mercurio como plomo y cadmio. Se hizo prueba piloto para evaluar el instrumento. Se incurrió en sesgo de selección y de memoria, aunque esto se señaló	Se asumió un error muy grande en el muestreo (20 %). Se debió hacer un MAE o MAC (edad y cercanía al lago) y no un MAS. No se especifica cómo se seleccionaron las personas.
Alteraciones neuropsicológicas en escolares de un municipio con niveles elevados de vapor de mercurio medioambiental, Colombia, 2008-2009	Mónica Vargas, Carlos Quiroz	2011	Transversal	Establecer la prevalencia de alteraciones neuropsicológicas de lenguaje, memoria, funciones ejecutivas y atención de los escolares de segundo grado de primaria a noveno grado de bachillerato del municipio de Segovia, Antioquia	196 estudiantes de segundo de primaria a noveno de bachillerato del municipio de Segovia, Antioquia	El 79,6 % de los escolares presentaba alteraciones en comprensión del lenguaje, el 77,6 % en funciones ejecutivas, el 52,6 % en atención visual, el 43,9 % en fluidez verbal, el 38,8 % en memoria verbal a corto plazo y el 31,1 % a largo plazo. Tales porcentajes generaron alarma y evidenciaron la necesidad de intervenir.	Uso de pruebas estandarizadas. Evaluación de población poco estudiada	Se muestran los parámetros usados para el cálculo del tamaño de la muestra, aunque no coinciden con los del muestreo realizado (MAE). No se determina la prevalencia de estas alteraciones en niños no expuestos a vapor de mercurio.