

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE TECNOLOGÍAS EN SALUD

Estudio de revisión bibliográfica sistemática sobre la contaminación, exposición y riesgo a enfermar por mercurio (Hg), atribuible al proceso de contaminación antropogénica, durante el periodo comprendido entre los años 2015 y 2021.

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Tecnologías en Salud de la Universidad de Costa Rica para optar por el grado de Licenciatura en la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Salud Ambiental

Postulante:

Rosa Inés López Turcios

Comité Asesor

Director: Dr. Horacio Alejandro Chamizo García

Lector: M.Sc. Andrés Gerardo Jiménez Corrales

Lector: M.Sc. Ricardo Alberto Morales Vargas

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2022

Hoja de aprobación

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por la Escuela de Tecnologías en Salud de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de licenciatura en Salud Ambiental el 30 de enero del 2023



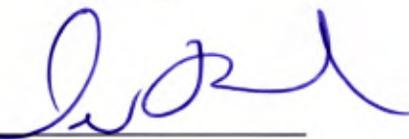
M.Sc. Xinia Alvarado Zeledón

Presidente



Dr. Horacio Alejandro Chamizo García

Director



M.Sc. Ricardo Morales Vargas

Miembro del Tribunal



M.Sc. Andrés Jiménez Corrales

Miembro del Tribunal

M.Sc. Eric Morales Mora

Miembro del Tribunal

Derechos de propiedad intelectual: Este documento es propiedad de Rosa Inés López Turcios, cédula 5-0410-0358, carné universitario B43884. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin el consentimiento del autor.

DEDICATORIA

Al profesor Horacio Alejandro Chamizo García,

quien ha sido un excelente mentor.

A mi familia,

quienes siempre me han apoyado.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi madre y mi familia por haber estado siempre ahí, manteniéndome en el camino del conocimiento y dándome apoyo para no rendirme.

A mi director de tesis, el Dr. Horacio Chamizo García, por haberme brindado la oportunidad de presentar esta investigación bajo su tutoría, por motivarme a buscar el conocimiento, gracias infinitas por su disposición, paciencia, consejos y lecciones de epidemiología que jamás olvidaré.

A mi lector Lic. Andrés Jiménez Corrales, por ser un excelente profesor y buscar alternativas diversas para enseñar, asimismo, por ayudarme en el proceso de lectura e involucrarse y darle un punto de vista diferente a mi tesis.

A mi lector M.Sc. Ricardo Morales Vargas, por tantos conocimientos que generó en la carrera de Salud Ambiental por ser un docente modelo, y por el tiempo dedicado a la lectura de mi tesis.

Índice General

Resumen.....	1
CAPÍTULO I.....	3
Introducción.....	3
1. Planteamiento del objeto de estudio.....	4
1.1 Descripción del problema de síntesis.....	4
1.2. Objetivos.....	9
1.3. Justificación.....	10
CAPÍTULO II.....	12
2. Marco teórico.....	12
2.1 Salud, ambiente y salud ambiental.....	12
2.2 Características del mercurio.....	14
2.3 Contaminación ambiental por mercurio.....	16
2.4 Exposición ambiental a mercurio.....	20
2.5 Susceptibilidad del ser humano ante el mercurio.....	24
2.6 Riesgo a enfermar debido a la exposición a mercurio.....	26
CAPÍTULO III.....	29
3. Metodología.....	29
3.1 Descripción general de la estrategia.....	29
3.2 Criterios de elegibilidad.....	31
3.3 Fuentes de información.....	32
3.4 Estrategia de búsqueda.....	32
3.5 Proceso de selección de los estudios.....	32
3.6 Proceso de extracción de aspectos de interés y su operacionalización.....	36
3.7 Riesgo de sesgo en los estudios.....	39
3.8 Medidas de resumen.....	39
3.9 Síntesis de los resultados.....	40
3.10 Consideraciones éticas.....	40
3.11 Cronograma.....	41
CAPÍTULO IV.....	42
4. Resultados.....	42
4.1 Selección de artículos.....	42
4.2 Contaminación ambiental por Hg según medio contaminado y fuente.....	43
4.3 Caracterización de la exposición por mercurio.....	55
4.4 Riesgo de enfermar por exposición a mercurio y sus compuestos.....	65
CAPÍTULO V.....	78
5. Conclusiones y recomendaciones.....	78

5.1 Conclusiones	78
5.2 Recomendaciones	82
Bibliografía	84
Anexos	100
Anexo 1. Combinaciones utilizadas en las bases de datos en inglés y español	100
Anexo 2. Ficha de validez general a utilizar en los artículos.....	101
Anexo 3. Validez de artículos relacionados con la contaminación ambiental, según medio contaminado y fuente categorizada por sector primario, secundario y terciario.	102
Anexo 4. Validez de artículos relacionados con las concentraciones de sangre en población humana expuesta.....	106
Anexo 5. Validez de artículos relacionados con la tasa de contacto, frecuencia de la exposición, duración de la exposición, masa y tiempo promedio.....	109
Anexo 6. Validez de artículos relacionados con el nivel de educación y el uso de equipo de protección personal	111
Anexo 7. Validez de artículos relacionados con los efectos del mercurio en mujeres embarazadas y niños	111
Anexo 8. Validez de artículos relacionados con enfermedades relacionadas al mercurio en población general.....	114
Anexo 9. Validez de artículos relacionados con la sintomatología aguda y crónica por exposiciones a mercurio.....	118

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipo de estudio, validez y precisión para cada artículo a utilizar	33
Tabla 2. Niveles de calidad en el enfoque GRADE.....	35
Tabla 3. Criterios para bajar o subir la calidad de artículos observacionales según GRADE	35
Tabla 4. Criterios de calidad para cada artículo a utilizar.....	36
Tabla 5. Cuadro de operacionalización de las variables de estudio.....	37
Tabla 6. Cronograma de trabajo.....	41
Tabla 7. Concentración de mercurio total en el aire, agua y suelo por sector primario secundario y terciario	44
Tabla 8. Concentraciones de mercurio en sangre de personas expuestas.....	56
Tabla 9. Tasa de contacto, frecuencia de la exposición, duración de la exposición, masa y tiempo de promedio	60
Tabla 10. Nivel de educación, uso de equipo de protección personal (EPP) y riesgo a enfermar por mercurio.....	63
Tabla 11. Efectos del mercurio en fetos de mujeres embarazadas y en niños.....	65
Tabla 12. Sintomatología asociada a la exposición aguda y crónica	71

Tabla 13. Enfermedades desarrolladas en personas por la exposición a mercurio, según el sistema afectado.....	74
---	----

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Diagrama de flujo de selección de los artículos. Fuente. Elaboración propia, 2022.	43
Ilustración 2. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector primario, Fuente. Elaboración propia, 2022.	46
Ilustración 3. Gas de mercurio elemental en el aire según actividades del sector primario. Elaboración propia, 2022.....	48
Ilustración 4. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector secundario más contaminante. Fuente. Elaboración propia, 2022.	50
Ilustración 5. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector secundario menos contaminante. Fuente. Elaboración propia, 2022.....	52
Ilustración 6. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector terciario. Fuente. Elaboración propia, 2022	53
Ilustración 7. Gráfico de bosque del efecto de la exposición a mercurio en fetos y niños, en donde *=RR y **=OR. Fuente, Elaboración propia, 2022.....	67
Ilustración 8. Gráfico de bosque del efecto de la exposición a mercurio en fetos y niños. Fuente, Elaboración propia, 2022.....	75

Índice de Siglas y Abreviaturas

SIBDI	Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
PNUMA	Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
CA-SQG	Concejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente para la Calidad de Suelos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
ACGIH	American Conference of Governmental Industry Hygienist
ATDSR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
AECPAL	Asociación Española de Enfermería en Cuidados Paliativos
GRADE	Grades of Recommendation, Assessment and Development
MAPE	Minería de Oro Aurífera de Pequeña Escala

Resumen

Desde los daños a la salud ocurridos en Japón a mediados de 1950, por el efluente de metilmercurio de una planta de producción y la creación del Convenio de Minamata en 2013, se ha despertado el interés por estudiar temas alrededor del mercurio, con el fin de declarar estrategias libres del metal para reducir o prohibir su uso.

Debido a que el mercurio es un metal con importantes impactos para la salud y el ambiente. La presente investigación aborda los efectos del metal en diferentes aspectos, su objetivo principal es analizar los datos de contaminación, exposición y riesgo a enfermar por mercurio (Hg) que sea atribuible a fuentes de origen antropogénico, a través de la revisión documental sistemática de publicaciones producidas en el período comprendido entre los años 2015 y 2021.

De manera que se procede a realizar una revisión sistemática sin metaanálisis de investigaciones científicas utilizando las bases de datos del SIBDI de la Universidad de Costa Rica. Se siguen los pasos estandarizados de búsqueda referentes a la guía de la Asociación Española de Enfermería en Cuidados Paliativos (AECPAL); además, se verifica la validez y la precisión de cada artículo, haciendo uso complementario de una versión adaptada a estudios observacionales del enfoque de calificación de recomendaciones, valoración, desarrollo y evaluación (GRADE, por sus siglas en inglés).

Los resultados generales de la investigación a partir de 56 artículos, fueron los siguientes: las concentraciones medias de mercurio en el suelo que más llamaron la atención, por sobrepasar los límites de la US EPA para suelos, fueron en la actividad MAPE Pinal de Amoles, México (2385,5mg/kg); minería de oro en Idrija, Eslovenia (972mg/kg); extracción de cinabrio, República Checa (69,52mg/kg); MAPE Yani, Bolivia (120mg/kg); MAPE El Dorado, Bolivia (1440 mg/kg) y actividad agrícola de arroz, Washan, China (36,8 mg/kg).

Se encontraron valores medios muy altos de Hg en sangre de las lavadoras de oro, ríos Gilgit, Hunza e Indo, Pakistán (54,05µg/L), mineros de Sao Chico (27,64µg/L) y Creporizinho, Brasil (25,23µg/L), trabajadores en industria de lámparas fluorescentes, Pakistán (31,87µg/L); MAPE Córdoba (21,97µg/L), Antioquia (10,13µg/L), Guainia (13,16µg/L) y Vaupé, Colombia (22,69µg/L) y MAPE Bibiani, Ghana (18,37µg/L).

Por último, se determinó el riesgo a enfermar por mercurio, relacionados con el factor de riesgo -en este caso- en las mujeres en gestación y niños, en donde la muerte fetal, la anomalía congénita, parto espontáneo y restricción en el crecimiento tuvieron mayor relación con el mercurio en sangre de mujeres embarazadas, [OR=2,71 (95%IC: 2,10-3,45)]; [OR=2,50 (95%IC: 1,50-4,17)]; [RR= 2,3 (95%IC: 1,32-4,02)] y [OR=1,56 (95%IC: 1,04-2,58)] respectivamente. A diferencia de la otitis, tos persistente, parto prematuro, comportamiento autista, sobrepeso u obesidad infantil, bajo peso al nacer y aborto espontáneo.

Los padecimientos en personas expuestas ocupacionalmente relacionados de forma significativa con el mercurio en sangre fueron el deterioro cognitivo, la hipercolesteremia, infertilidad, autismo y defectos en el tubo neural [OR=6,4 (95%IC: 0,66-38,7)]; [OR=3,72 (95%IC:1,03-13,4)]; [OR=2,57 (95%IC:1,12-5,87)]; [OR=2,9 (95%IC:1,39-6,07)] y [OR=2,85 (95%IC:1,17-6,94)] respectivamente. En comparación con dermatitis, rinitis, asma, diabetes y alteración de la glucemia.

CAPÍTULO I

Introducción

La contaminación, exposición y riesgo a enfermar por mercurio (Hg) en diferentes poblaciones tanto a nivel nacional como internacional, es un tema fundamental en la definición de estrategias de investigación para la mejora de la salud ambiental desde el ámbito académico.

La documentación de datos, como son las concentraciones de mercurio y sus compuestos en el aire, agua y suelo en diferentes sectores, indican la medida en la que han sido contaminados diferentes lugares a nivel mundial. Los niveles de concentración en sangre, la tasa de contacto, la frecuencia y duración, el nivel de educación y el uso de equipo de protección personal ofrecen una indicación sobre la dimensión a la cual se están exponiendo ocupacionalmente las personas, lo cual brinda la posibilidad a los profesionales en salud de tener una guía hacia dónde dirigir y priorizar acciones para reducir la exposición.

Además, es relevante evidenciar los factores que aumentan la susceptibilidad de enfermar por mercurio como: la edad temprana y el embarazo (asociados al riesgo de presentar síntomas agudos y crónicos), enfermedades respiratorias, neurológicas o gastrointestinales; para conocer cómo afecta este metal a las diferentes poblaciones mencionadas y, sobre todo, exhortar a la creación de acciones de mejora de su calidad de vida.

El propósito de realizar este estudio sistemático es tener una base sólida sobre los posibles escenarios de contaminación, exposición y riesgo a enfermar por causa del mercurio, de manera que se informe sobre los daños que puede generar y además indicar cuales son los sectores y población más afectados e iniciar futuras investigaciones de campo. Porque se ha detectado un problema: la carencia de documentación científica sistematizada de calidad que recopile datos de contaminación, exposición y riesgo a enfermar por Hg.

Para ello se empleó la revisión sistemática documental, la cual permitirá la evaluación ordenada y explícita de la literatura disponible a nivel nacional e internacional, que sean accesibles desde las bases de datos del Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información de la Universidad de Costa Rica (SIBDI).

1. Planteamiento del objeto de estudio

A continuación, se presenta el planteamiento del objeto de estudio, el cual abarca en primer lugar, la formulación de la situación problema en función de resultados previos de investigaciones nacionales e internacionales; en segundo lugar, los objetivos de la investigación y por último, la justificación que resalta su relevancia, pertinencia a nivel social y el aporte en términos de la Salud Ambiental.

1.1 Descripción del problema de síntesis

El mercurio (Hg) es un metal pesado que ha tenido un considerable impacto en la salud y el ambiente a nivel mundial, a través de la liberación de este y de sus compuestos, lo cual ha provocado la alteración en el ciclo natural del mismo elemento y ha generado su bioacumulación en organismos, enfermedades en varios sistemas del cuerpo humano y contaminación ambiental.

Gran variedad de actividades han contribuido a su liberación, dentro de ellas destaca la extracción de minerales, quema de carbón, minería, industria cementera y química (Chen et al., 2018, p.9556). Según el Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente (PNUMA, [por sus siglas en español]), la evaluación mundial de mercurio del 2018 destacó que las principales fuentes de emisión se encuentran en: los focos fijos de combustibles fósiles y de biomasa, la producción de metal ferroso y no ferroso, cementeras y las emisiones generadas por los desechos. (2018, p.2)

Este metal posee variedad de usos en la industria, según Murillo (2016) algunos ejemplos son: para separar y extraer el oro, como líquido de contacto en aparatos eléctricos o como fluido para uso en diferentes aparatos por su alta densidad (p.17); debido a su uso amplio se están introduciendo cantidades de mercurio más elevadas a las naturales, lo cual podría comprometer la salud y el ambiente mediante la formación de metilmercurio (MeHg), que es la forma tóxica que se bioacumula en las cadenas alimentarias, lo cual representa una elevada exposición a la vida silvestre y a humanos (Chen et al., 2018, p.9556).

En este sentido, en enero del año 2013 se acordó el Convenio de Minamata sobre el Mercurio de las Naciones Unidas, este permanece abierto para la firma todas las naciones (PNUMA, 2013, p.4). Costa Rica firma el convenio y se aprueba el Tratado Internacional N°9391 sobre el Convenio de Minamata; posteriormente queda

ratificado el 21 de octubre de 2016 mediante el decreto N°40053, con lo cual se adquiere la responsabilidad de presentar informes. Estos deben incluir las medidas o estrategias adoptadas, con el fin de reducir las emisiones de mercurio causadas por las actividades humanas. Dicho convenio tiene como principio proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos con mercurio (Murillo, J. 2016 p.4).

Dentro del panorama internacional, el Inventario Mundial de Emisiones de Mercurio de Fuentes Antropogénicas cuantificó en el año 2018 un total de 2.220 toneladas de mercurio al año. Cabe destacar que algunas fuentes antropogénicas no fueron posibles de cuantificar; sin embargo, este dato no afectaría significativamente a nivel global, pero podría ser de importancia a nivel local (PNUMA, 2018, p.2).

En añadidura Santamaría, Medina y Torres (citado por Fernández 2017, p.6), estiman que el 30% de las emisiones de mercurio a la atmósfera son de origen antrópico, el 10% de fuentes naturales y el 60% corresponde a reemisiones de mercurio depositadas en los suelos y los océanos. Este último aspecto agrava la situación, dada la capacidad de este metal por desplazarse a largas distancias en la atmósfera, pudiendo ser depositado en cualquier otro lugar del planeta.

A continuación, se mencionan algunos de los daños o efectos que se han producido en poblaciones a raíz de la contaminación y exposición a mercurio. Uno de los hitos históricos fue el ocurrido en la Bahía de Minamata, Japón, a mediados del año 1950 se descubrió un padecimiento con síntomas neurológicos característicos, este causó malestares cerebrales e intoxicaciones congénitas a través de la transferencia placentaria. La enfermedad de Minamata fue asociada al efluente de MeHg de una planta de producción, dado que la población estuvo expuesta de forma crónica por ingesta de mariscos y peces contaminados (Aschner, Chang, Dos Santos y Liejun, 2018, p.399).

Por otra parte, la intoxicación por mercurio en Iraq, en 1971, ocurrió por consumo de granos tratados con funguicidas organomercuriales; dando paso a una intoxicación aguda. Cuando ocurrió este brote se realizó el seguimiento epidemiológico y toxicológico, lo cual dio como resultado los valores de referencia para poner en riesgo la salud de un adulto - 0,3 mg/kg/día - según la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés). Sin embargo, esta dosis se redujo, años más tarde, a raíz de resultados de estudios más exhaustivos (Gochfeld, M. 2003, p.177).

Ambos casos dan a conocer que una de las más importantes fuentes en donde se encuentra el compuesto del metal son los alimentos contaminados por MeHg, el cual tiene una gran afinidad por los compuestos orgánicos encontrados habitualmente en los alimentos más consumidos a nivel mundial (pescado y granos).

Aparte, del aporte de mercurio al ambiente por la industria química, se han originado emisiones por medio de derrames accidentales del metal; en Perú, se originó una emisión de 151 kg de Hg metálico en el año 2000, Algunos campesinos aledaños a la zona sufrieron problemas respiratorios, labilidad emocional, cambios en el sistema neuromuscular, entre otros; además, informes de vigilancia recientes exponen que las personas afectadas aún siguen teniendo problemas de salud (Ayme, et al. 2018, p.110).

A pesar de las investigaciones que se han realizado a raíz de accidentes con el mercurio, aún no se tiene un panorama claro a nivel internacional sobre sus efectos en la salud. Se siguen realizando estudios que reportan efectos y otros que no, se han detectado alteraciones en el ciclo del metal, en su metilación, bioacumulación y en su transferencia trópica debido al clima y al uso de la tierra. Todos estos factores contribuyen a la incertidumbre en la capacidad de reducir las emisiones y la exposición (Chen et al., 2018, p.9559).

A nivel regional, América Central y el Caribe contribuyen a la emisión mundial de mercurio con un 2,1% del total, aportando en promedio 45,8 toneladas al año (PNUMA, 2018, p.12). Sin embargo, según Fernández (2017), existen los planes de acción nacional o inventarios de emisiones en Latinoamérica respaldados por el PNUMA. Si bien es cierto que no todos los países cuentan con estos planes o han firmado el Convenio de Minamata, en cierta forma estas acciones ayudan a mitigar las emisiones, reducir o prohibir el uso y la creación de productos con mercurio añadido.

A nivel nacional, se han realizado trabajos finales de graduación alrededor de esta temática. Entre los que destaca, el estudio exploratorio sobre la exposición a mercurio que presentan las personas que se dedican a la minería de oro artesanal en las Juntas de Abangares, Guanacaste. Según Fernández (2017a), esta investigación logró concluir que la exposición está asociada a: la baja escolaridad y a la escasa garantía de seguridad y salud. Además, en algunas ocasiones los mineros trabajan jornadas extensas, sin poseer equipo de protección personal y algunos de ellos han sufrido de enfermedades del riñón y abortos espontáneos (p.85).

Otro estudio, realizado en 2017, fue el desarrollo de un perfil del uso de mercurio en todo el país. Este reveló que no existe una estrategia integral de residuos

de mercurio a nivel nacional en el sector salud. No obstante, el Gran Área Metropolitana fue la región que más se involucró en los procesos de eliminación de mercurio, por medio de la industria cementera, gestores de residuos peligrosos, cremaciones, calderas y hornos de combustión; puesto que la mayoría cumplen con la normativa necesaria para el control de emisiones. Además, se detecta que la minería de oro artesanal se considera el sector más crítico (Fernández, 2017, p.113).

Por otra parte, se documentó el valor de las emisiones de mercurio en el país a nivel N2, en 2016. Para la contabilización se utilizó el instrumento del PNUMA, el cual registró 5,57 toneladas de mercurio para el 2014, los sectores que más aportaron fueron: la extracción de oro con amalgamación, la quema informal de residuos y el uso de amalgamas dentales (Murillo 2016, p.77).

También se realizó un estudio de mercurio en áreas prioritarias de Costa Rica: zona de minería de oro artesanal en Abangares, zona de emisión natural del Volcán Turrialba, zona urbana mixta actividad residencial, comercial e industrial en la Asunción de Belén, zona influenciada por industria cementera en Dulce Nombre-Aguas Calientes de Cartago y otra zona con mínima influencia de actividad antropogénica en el Parque Nacional Cahuita en los años 2016-2017 por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

La investigación anterior concluyó que, en la zona minera de oro artesanal, el mercurio gaseoso elemental sobrepasó los parámetros europeos. Situación que es preocupante porque los posibles efectos para la población que se expone a estas concentraciones aún es desconocido (p.12).

Asimismo, la concentración total de sedimentos encontrada en las lagunas de la actividad minera también podría tener impacto en la salud y en el ambiente. En el país no existe una ley concreta para las lagunas de la actividad minera, dado su carácter artesanal e informal. No obstante, existe el "Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames", Decreto Ejecutivo N°37757, publicado en la Gaceta N°132 del 10 de julio del 2013 y vigente a partir del 11 de enero de 2014; el cual tiene como institución rectora el Ministerio de Salud (MINAE, 2017, p.16).

A pesar de que los suelos y los lodos poseen diferente composición, se debe descartar que, si no existe un debido tratamiento y regulación en los lodos, el mercurio podría dispersarse por escorrentía, erosión o sedimentación y contaminar los ecosistemas terrestres si la concentración en los sedimentos encontrados sobrepasa los parámetros de la normativa. Por lo anterior, conviene rectificar la idea de prestar atención a esta problemática.

En el país, también está presente el “Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales”, Decreto Ejecutivo N°33601, publicado en la Gaceta N°55 del 19 de marzo de 2007 y vigente en la misma fecha. En esta norma se establecen límites de mercurio para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor y para cualquier agua residual que sea vertida en un alcantarillado sanitario. También el “Reglamento para la Calidad del Agua Potable”, Decreto Ejecutivo N°38924, publicado en la Gaceta N°170 del 09 de enero de 2015 y que se encuentra vigente a partir de la misma fecha, del Ministerio de Salud para la calidad del agua potable; ambos decretos establecen valores límites de vertido para el mercurio.

En los cuerpos de agua aledaños a la zona de minería artesanal de Abangares se han registrado valores inferiores al ser comparado con la literatura (MINAE, 2017, p.39); sin embargo, existe la posibilidad del mercurio en cantidades mínimas pueda formar enlaces con la materia orgánica y afectar flora y fauna del ecosistema contaminado. La toxicidad de la forma MeHg, requiere muy bajas concentraciones. En el Lago Tamarack, Minnesota, las concentraciones reportadas en los peces fueron 1 millón de veces más grandes que en el agua, dada al proceso de biomagnificación (Malcolm, E. 2018, p.36).

También se dispone del “Reglamento de la actividad de la minería artesanal y en pequeña escala para subsistencia familiar por parte de Cooperativas Mineras”, Decreto Ejecutivo N°37225, publicado en la Gaceta N°160 del 21 de agosto de 2012 y vigente a partir de la misma fecha. Mayoritariamente trata sobre los procedimientos y requisitos de una cooperativa para contar con una concesión, dentro de estos incluye: contar con las disposiciones del reglamento de seguridad e higiene en el trabajo, directrices de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) y de la Dirección de Geología y Minas, descripción de tratamiento de los desechos y otros aspectos más; no obstante, no habla sobre inspecciones de seguimiento en el área concesionada.

Por lo anterior, existe la posibilidad de que los trabajadores no cumplan con los requerimientos de seguridad e higiene en el trabajo; como se mencionó anteriormente en la tesis de minería artesanal, muchas personas no utilizan equipo de protección y lavan su ropa en conjunto con la de toda la familia, exponiendo la salud de todos los integrantes (Fernández, 2017a, p.85).

Es importante recalcar la crisis que ha representado la minería de oro artesanal en el país. En la mayoría de las investigaciones realizadas se ha hecho hincapié en que esta actividad representa un sector crítico; por tanto, ha sido de interés público la exposición y el riesgo que representa para estas personas trabajar con mercurio.

Por último, el caso del volcán Turrialba, a pesar de ser una fuente de origen natural, su actividad volcánica ha ocasionado concentraciones de mercurio alrededor de la quebrada La Silvia. Los valores reportados sobrepasaron la normativa internacional del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente para la calidad de suelos (CA-SQG, por sus siglas en inglés), y también lo dispuesto en el Decreto Ejecutivo N°37757. La vegetación circundante, presentó concentraciones de mercurio que fácilmente pueden ser asimiladas por los pastos. (MINAE, 2017, p.37). Esto podría repercutir en la salud humana, al exponer a la población al consumo de carne de ganado que a su vez se alimenta del pastizal.

Por todo lo anterior y considerando las interacciones del mercurio con los seres vivos y sus efectos en diferentes poblaciones a nivel mundial, además de los antecedentes nacionales surgen las interrogantes:

¿Cuáles son los sectores y actividades antropogénicas identificadas como las más significativas en cuanto al aporte de mercurio al ambiente, y los medios de exposición de la población de acuerdo con los reportados por investigaciones científicas publicadas?

¿Cuál es la susceptibilidad y el riesgo de enfermar atribuible a la exposición de la contaminación ambiental por mercurio, para la población ocupacional y la categorizada por edad y embarazo, de acuerdo con lo reportado por investigaciones científicas publicadas?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar los datos de contaminación, exposición y riesgo a enfermar por mercurio (Hg), atribuible a fuentes de origen antropogénico, a través de la revisión documental sistemática de publicaciones producidas en el período comprendido entre los años 2015 y 2021.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir los contextos generales en donde se ha cuantificado una contaminación por mercurio a raíz de condiciones naturales y antropogénicas y según el tipo de fuente primario, secundario y terciario.

2. Caracterizar los tipos de exposición a la contaminación ambiental por mercurio y sus compuestos a partir de casos reportados según la literatura consultada.
3. Determinar el riesgo de las personas a enfermarse por exposición al mercurio o sus compuestos para contribuir a generar lineamientos básicos para promover ambientes libres de mercurio en Costa Rica.

1.3. Justificación

El mercurio y sus compuestos están presentes en diferentes sectores geográficos, ya sea por procesos naturales o antropogénicos. Aun así, este metal es tóxico para el ser humano y el ambiente, a pesar de ello, no ha sido removido completamente de la actividad humana, y ha llegado a alcanzar cantidades muy superiores a las naturales, lo cual representa un riesgo para la salud y los ecosistemas al tratarse de un metal con cualidades perjudiciales.

Al recopilar y analizar evidencia científica acerca de la exposición ambiental por mercurio o la alteración del elemento en el ambiente, se expone la importancia de brindar datos de referencia que puedan apoyar la toma de decisiones en el marco del Convenio de Minamata.

Como todos los países firmantes, Costa Rica debe hacerle frente a dicho convenio a través de la gestión de políticas públicas, para que se alcance a reducir los niveles contaminantes y de exposición al mercurio, a partir de la disminución en el uso de productos que contienen el metal y la mitigación de las liberaciones antropogénicas al ambiente.

Al informar sobre los peligros que representa el uso del mercurio, se puede mejorar la calidad de vida de algunos sectores de la sociedad costarricense, especialmente aquellos vulnerables a la exposición por el metal; los cuales están actualmente siendo afectados por altos valores ambientales, producto de la actividad antropogénica, destacando la minería de oro artesanal.

Con la revisión de los artículos publicados en revistas internacionales, se pretende evidenciar los riesgos y daños que puede representar el mercurio para la salud humana y del ambiente. Del mismo modo, se incita a los órganos de salud pública y de ambiente del país a incorporar dentro de sus funciones, estrategias, programas, planes, proyectos o actividades, el principio precautorio del riesgo por

exposición al mercurio y sus compuestos; así como, la identificación y regulación de los posibles focos de emisión, para proteger a las poblaciones en situación de riesgo.

De la misma manera, se pretende fortalecer la capacidad de los profesionales encargados de formular, aprobar o aplicar la normativa que regula las actividades antrópicas generadoras de este residuo; para ello se deben tomar en cuenta aspectos de prevención, diagnóstico, tratamiento, seguimiento y vigilancia de sectores de la población vulnerables a la contaminación por el metal.

Gracias al aporte científico de la academia al servicio de la población costarricense, la Escuela de Tecnologías en Salud, como ente referente tanto en el ámbito nacional como internacional en las tecnologías en salud y en el desarrollo científico-tecnológico, se beneficia por la generación de proyectos que aporten datos de interés nacional e internacional.

Esta investigación contribuye al proyecto de investigación: Promoción de ambientes libres de mercurio en Costa Rica: avances en la gestión de la política y mercadotecnia social 424-C0-269, a cargo del Dr. Horacio Chamizo García, que se desarrolla actualmente en la mencionada unidad académica.

Además, el producto de la investigación puede ser utilizado como material didáctico para la formación en el área epidemiológica de la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Salud Ambiental, al estar enfocado en temas de exposición, susceptibilidad y riesgo a enfermar. Cabe destacar que puede promover al análisis, discusión y participación del futuro estudiantado en la formulación y ejecución de acciones dirigidas a gestionar el riesgo.

Del mismo modo, los resultados podrán ser utilizados como referencia para el inicio de futuras investigaciones de campo, puesto que aún no se ha estudiado a profundidad los efectos del mercurio, y sus compuestos en el ambiente y la salud de la población en el país, por lo cual es necesario apoyarse en una revisión sistemática, como base para iniciar con futuras investigaciones.

Aunado a lo anterior, se plantea evidenciar el avance de la investigación científica que Costa Rica ha llevado a cabo desde la aprobación del convenio, lo cual pretende fortalecer la red de autores en la gestión de las políticas públicas en salud para incorporar visiones y esfuerzos, compartir metas, valores y trabajo.

Al realizar un análisis de estudios de exposición y riesgo a enfermar por mercurio a nivel internacional, se permitirá evidenciar el estado de avance en las condiciones de salud ambiental, que posteriormente ayudará a la toma de decisiones.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

El presente marco teórico permite definir aquellos términos claves para la ejecución de la investigación, a partir de la discusión de conceptos y teorías. El objetivo principal es brindar elementos que faciliten la comprensión del tema.

En primer lugar, se expone la relación entre el ambiente y la salud para dar lugar a la salud ambiental; en segundo lugar, se presentan las características del metal y sus compuestos; en tercer lugar, la contaminación ambiental y la contaminación por mercurio; en cuarto lugar, la exposición ambiental al mercurio; en quinto lugar, la susceptibilidad frente a la exposición ambiental al mercurio; por último, se expone el riesgo de enfermar asociado a la exposición ambiental al Hg.

2.1 Salud, ambiente y salud ambiental

Para entender el término de la salud ambiental, se debe de empezar conociendo la definición de la salud y posteriormente la de ambiente. Dicho esto: “La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”. El concepto anterior fue adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), entró en vigor desde 1948 y sigue vigente hoy día, sin haber sido modificado. No obstante, esta idea tiene un sentido utópico, puesto que es imposible alcanzar el completo bienestar, pues existen condicionantes variables para cada individuo que la determinan.

Según Gea-Izquierdo (2015), la salud es el objetivo de las profesiones sanitarias y médicas; adicionalmente, el autor señala que es una abstracción, una construcción mental o que hace referencia a una condición humana. Muchas personas tienen una percepción distinta de lo que es salud de acuerdo con su experiencia personal, su cultura y su socioeconomía, religión, modo o estilo de vida, etc. (p.11); por lo anterior, el concepto de salud es múltiple y la salud es una condición subjetiva, que no puede ser generalizada para toda la población

En cuanto al ambiente, según Yassi et al. (2000), es todo aquello exterior al ser humano y es tipificado según: su física, su química, su biología, su cultura y sociedad;

estas variables pueden influenciar en la condición de salud de la población (p.11). Lo cual sugiere que el ambiente forma parte de los condicionantes de la salud.

El ambiente también es un proceso de interacciones que ocurren en un estado estacionario dinámico, constituido por un proceso histórico de acciones ejercidas recíprocamente entre la naturaleza y la sociedad: lo humano se integra al sistema formando un elemento más que intercede en sus cambios constantes, pero siendo capaz de impactar el sistema de forma muy significativa (Chamizo citado por Orozco, Solano y Villalobos, 2009, p.14). Lo que quiere decir este autor, es que el ser humano puede integrarse al sistema dinámico y cambiante de la naturaleza, sin embargo, tendrá un impacto en el mismo.

Además, el ambiente es un factor determinante para la salud y la calidad de vida de los grupos humanos que se desarrollan en un espacio y tiempo dado; es decir, intervienen en procesos químicos, físicos y biológicos propios de un hábitat natural. Lo cual hace resaltar la relación entre un agente químico, llámese mercurio, con la salud de un determinado grupo.

Como lo indican Orozco et al. (2009), los seres humanos han desarrollado a lo largo del tiempo, un sistema de interacciones con el ambiente y, en general, con el medio en donde viven, con el propósito de saciar sus necesidades de supervivencia; al mismo tiempo ha sido capaz de evolucionar transformando su entorno, tanto natural como social (p.14).

Así, la salud ambiental es intrínseca a la vida cotidiana del individuo o de los colectivos poblacionales, ya sea para su conveniencia y, también, como resultado del deterioro de su salud, principalmente cuando no se gestionan de manera adecuada los procesos que generan impacto en el ambiente. Esto hace pensar que la salud ambiental responde a la promoción y el estudio de aquellos factores ambientales que propician entornos positivos en la salud de una población.

La salud ambiental ha sido acuñada por Koren y Bisesi (2002), como el arte y la ciencia de proteger la salud humana, prevenir enfermedades y lesiones mediante el control de factores ambientales y la reducción de potencial peligros físicos, biológicos y químicos (p.1). Además, los mismos autores hacen mención de que los profesionales en salud ambiental realizan esfuerzos dirigidos a controlar, preservar o mejorar el medio ambiente; para que las personas pueden tener una salud, seguridad, comodidad y bienestar óptimo ahora y en el futuro (p.66).

A partir de la anterior discusión, teniendo en cuenta la salud y el ambiente, surge la necesidad de indagar acerca del origen, características del mercurio en el ambiente y como este repercute en la salud.

2.2 Características del mercurio

El mercurio es un metal que tiene muchas características, dentro de ellas: es de color blanco plateado, se evapora a 13°C, lo cual hace que se volatilice fácilmente a temperatura ambiente, no es común encontrarlo en estado líquido, es capaz de amalgamar a casi todos los metales, no es fundamental para los procesos biológicos, pero se deposita en la mayoría de los organismos. En la naturaleza es frecuente hallarlo en compuestos orgánicos e inorgánicos (cinabrio o sulfuro de mercurio, sulfuro de arsénico o realgar, hierro o piritas), también se le haya directamente unido a minerales de zinc, cobre, oro y plomo (Ramírez 2008, p.46).

Además del estado natural, existe un importante aporte antropogénico. Por sus cualidades como la alta densidad térmica, el mercurio y sus compuestos han sido utilizados alrededor del mundo en muchos productos como pilas y termómetros, porque que no se encontró por mucho tiempo otras alternativas tecnológicas eficientes y ecológicas. También es utilizado en: el tratamiento de semillas, pruebas en laboratorios químicos, preservante de farmacéuticos y cosméticos, en dispositivos médicos (esfigmomanómetros), interruptores, barómetros, lámparas fluorescentes, amalgamas dentales y aparatos electrónicos (Fernández 2017, p.9).

Por la capacidad del mercurio de interactuar con los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el ambiente, existen 3 familias de mercurio; dependiendo de esta, así será la absorción en el cuerpo del ser humano. Es importante tener en cuenta el comportamiento de cada una de las familias de mercurio en las personas, porque cada una de ellas es asociada a diferentes repercusiones que pueden provocar efectos inmediatos o crónicos en la salud y pueden encontrarse en diferentes lugares.

2.2.1 Familias de mercurio

El mercurio tiene 3 estados de oxidación (0, +1 y +2). El 0 pertenece al mercurio elemental, cuando este se oxida abre paso al mercurio I y II; el II tiene afinidad por unirse a compuestos orgánicos, por esta razón la población en general puede estar expuesta a estas 3 formas (González et al., 2015, parr.9).

2.2.2 Mercurio elemental

El mercurio elemental en humanos puede ser introducido mediante las amalgamas dentales y por medio de los niveles de Hg elemental en la atmósfera y el agua potable; no obstante, los últimos tienen valores tan bajos, que no pueden verse como fuentes importantes de exposición para el público en general (Abass et al. 2018, p.1).

Sin embargo, el Hg metálico o líquido se vaporiza fácilmente y cuando se inhala rápidamente, atraviesa la membrana alveolar y pasa a la circulación. El vapor de Hg es la principal exposición encontrada en la recuperación de oro durante minería artesanal, al ser inhalado puede causar inflamación pulmonar en concentraciones suficientes y puede atravesar fácilmente la barrera hematoencefálica (O'Donoghue, et al. 2020, p.89).

2.2.3 Mercurio orgánico

La forma orgánica es la más importante para la exposición, pues los humanos están comprometidos a través de los alimentos; según Abass et al. (2018) principalmente afecta al sistema nervioso central, las consecuencias son disturbios en funciones neurológicas de la visión, escucha y debilidad muscular, siendo los niños y los no nacidos los que presentan mayores riesgos (p.1).

Es absorbido por el tracto gastrointestinal en el cuerpo humano y distribuido por la sangre; posteriormente, se encontrará en los tejidos, en cuestión de días; más aún, puede ser excretado por la leche materna, representando riesgo para los niños en periodo de lactancia (Abass et al. 2018, p.2).

Además, como lo indica Malcolm, es la forma más notable y conocida, en tanto es la más contaminante encontrada en el ambiente, aún más que la inorgánica; porque se une a las proteínas y se acumula en los tejidos de los organismos vivos (2016, p.34).

Por lo anterior, en tejidos de mamíferos forma numerosos compuestos e interactúa especialmente con proteínas que contienen un sulfhidrilo (-SH): tanto el metil como el dimetil mercurio, se absorbe fácilmente a través de los pulmones, la piel y las superficies mucosas; como se mencionó anteriormente, una vez en la sangre, se distribuyen por todo el cuerpo humano y cruzan fácilmente la barrera hematoencefálica que utiliza la vía de transporte de aminoácidos (O'Donoghue et al. 2020, p.89).

2.2.4 Mercurio inorgánico

En el caso del mercurio inorgánico, la toxicocinética es diferente, de acuerdo con Abass et al. (2018); el aproximado de absorción por el tracto gastrointestinal es de 7-15%; el Hg iónico ingerido se propaga rápidamente a la sangre y los órganos, mientras que la gran mayoría se excreta en la orina, y cantidades más pequeñas a través de la saliva, la bilis, el sudor y la leche materna e inclusive el aliento (p.2).

2.3 Contaminación ambiental por mercurio

Para entender la contaminación ambiental por mercurio, se debe de empezar por precisar el término general de la contaminación, su significado es visto de diferentes modos, dependiendo de la disciplina que la trate. A modo introductorio, la contaminación es la alteración o el cambio en las propiedades de un objeto o de un medio como lo puede ser el agua, aire y el suelo; y que además influye a todo lo que se encuentra en su entorno.

La contaminación se ha intensificado con la era industrial, a partir de ella el ser humano ha inducido a cambios o alteraciones en el ambiente físico o biológico, y ha sobrepasado los límites que la tierra tiene para recuperarse, lo cual repercute en todo lo que pasa a su alrededor, en especial en la salud humana.

En el ámbito legal, en la normativa costarricense, según la Ley N.º 7554 Ley Orgánica del Ambiente, en su artículo 59, establece que “se entiende por contaminación toda modificación o alteración del ambiente que pueda perjudicar a la salud humana, atentar contra los recursos naturales o afectar el ambiente en general de la Nación”. Esta tesis es relativamente similar a las anteriores.

Desde la perspectiva ecosistémica y según Cifuentes et al. (2018), las personas, así como todas las formas de vida forman parte integral del ecosistema, y por lo tanto su conducta ecológica satisface a su función natural en una malla de interrelaciones, dependiendo del mismo medio donde coexiste con otras especies y de los recursos para subsistir y progresar (parr.10). Por consiguiente, se concluye que la relación del ser humano con el ambiente es esencial para la supervivencia de este, ya que forma parte de todo el sistema.

De lo anterior, se resalta que, en el sistema mencionado anteriormente, se encuentran concentraciones de contaminantes que sobrepasan los límites naturales y,

por ende, pueden propiciar un desequilibrio que pone en riesgo la salud humana y el medio ambiente. Por este motivo es importante indagar en la propagación natural y antrópica del metal.

2.3.1 Propagación natural

El mercurio es liberado principalmente en la naturaleza por procesos como: la meteorización de rocas que contienen Hg, la actividad geotérmica y el vulcanismo (Streets et al., 2017, p.5969). Para entender la propagación natural, es importante conocer la interacción del mercurio en las diferentes capas de la tierra.

2.3.1.1 Geosfera: Cuando una roca se convierte en suelo, el mercurio contenido en su interior lo enriquece. También es introducido por deposición húmeda y seca o por descomposición de la materia orgánica; es decir, si la hoja de una planta que contiene mercurio cae al suelo, posteriormente ésta será introducida en la geosfera.

2.3.1.2 Atmósfera: En la atmósfera el mercurio es transportado en diversas formas químicas a través de las corrientes de aire. El proceso involucra volatilización desde el suelo, océanos y vegetación. Mas del 95% del mercurio es vapor elemental (Beckers & Rinklebe, 2017, p.694), este permanece periodos largos por su poca solubilidad y baja reactividad. Mientras que el mercurio gaseoso reactivo (cloruro de mercurio, bromuro de mercurio y óxido de mercurio), permanece periodos de tiempo corto por su alta solubilidad, por lo cual, se encuentra en el rocío o plantas y presenta una importante preocupación de contaminación a nivel local y regional (Malcolm, 2016, p.39).

2.3.1.3 Hidrosfera: La mayor parte del Hg en el agua, se encuentra en la forma inorgánica (Beckers & Rinklebe, 2017, p.694). El mercurio entra como parte del ciclo del agua, normalmente en su forma inorgánica disuelta o unido a partículas, pero el proceso de metilación lo convierte en orgánico. Este fenómeno es provocado por bacterias sulfato reductoras (Malcolm, 2016, p.40).

2.2.1.4 Biosfera: En la biosfera la forma predominante es el MeHg, la forma tóxica que se bioacumula en los organismos, en las cadenas alimentarias acuáticas y terrestres, provocando biomagnificación y por ende una exposición elevada en humanos y vida salvaje (Chen et al. 2018, p.9556). Las plantas son un medio importante de transferencia de mercurio, ya que lo mueven del agua o del suelo a la atmósfera, mientras trasladan el agua en el proceso de respiración y lo devuelven en el proceso inverso como sustancia de desecho (Malcolm, 2016, p.40).

A pesar de que el metal es liberado por fuentes naturales, estas apenas representan un porcentaje bajo. Actualmente a nivel mundial una gran parte del proceso de contaminación por mercurio es atribuible a las actividades humanas, según Santamaria, citado por Fernández, se estima que el 30% de las emisiones a la atmósfera son de origen antrópico, el 10% de las emisiones son de origen natural y el 60% corresponde a reemisiones de mercurio depositados en los suelos y los océanos. (2017, p.6)

2.3.2 Propagación por fuentes antropogénicas

En comparación con el proceso natural, de acuerdo con Malcolm, el ser humano ha acelerado el movimiento del mercurio, haciendo que este sea expulsado fuera de la corteza terrestre; es decir, de la geosfera a la atmósfera, hidrosfera y biosfera, lo cual lo aleja del lugar de donde se mantenía secuestrado de forma estable (2016, p.34).

Datos de deposición atmosférica en las turbas remotas y los sedimentos indican un enriquecimiento del metal de 3 a 5 veces en relación con el año 1850, por el comienzo de la era industrial (Streets et al., 2017, p.5969). Lo cual quiere decir, que se han trasladado concentraciones de mercurio de la atmósfera a la superficie de la tierra en cantidades muy elevadas tomando como referencia el inicio de la revolución industrial, cuando el ser humano empezó a deteriorar el ambiente mediante sus actividades productivas.

Existen algunos medios por los cuales el mercurio puede ser introducido al ambiente: en la geosfera e hidrosfera, el mercurio puede ser introducido directa o indirectamente por residuos; en la biosfera o atmósfera, la quema de biomasa trasfiere el mercurio a estas zonas.

También por medio de la minería, se han detectado concentraciones de mercurio total en sedimentos de desecho. Algunos de los estudios que aportan evidencia se han llevado a cabo en Querétaro (México), Almadén (España), Idrija (Eslovenia), Guizhou (China), Abangares (Costa Rica). En todos estos sitios las concentraciones sobrepasan los límites declarados como normales por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y el CA-SQG (MINAE, 2017, p.16).

Las actividades antrópicas que contribuyen de forma significativa en la propagación del mercurio al ambiente han sido reconocidas internacionalmente por el PNUMA, dentro de ellas destacan:

La minería de oro artesanal y en pequeña escala; quema de biomasa (doméstica, industrial y central eléctrica); producción de cemento (materias primas y combustible, excluido carbón); emisiones de cremación; producción de cloro-álcali (proceso de mercurio); producción de metales no ferrosos (Al, Cu, Pb, Zn primario); producción de oro a gran escala; producción de mercurio, refinación de petróleo, producción de arrabio y acero (primario); combustión estacionaria de carbón, gas y petróleo (doméstico / residencial, transporte, industrial y centrales eléctricas); producción secundaria de acero, monómero de cloruro de vinilo (catalizador de mercurio); residuos (otros residuos) e incineración de residuos (quema controlada). (PNUMA, 2018, p.15)

A partir de lo anterior y con el fin de tipificar estas actividades se hará uso de la división por sectores, incluyendo el primario, secundario y terciario.

2.3.2 .1 Sector primario

Se obtienen productos a partir de los recursos naturales, destinados a la producción industrial o para la transformación en energía. Se incluye aquí: la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la caza, la pesca y la explotación de minas y canteras.

Este sector es de importancia porque la minería aurífera artesanal a pequeña escala (MAPE), según la evaluación mundial del mercurio en 2018 generó casi el 38% del total de las emisiones mundiales, posicionando esta actividad en el primer lugar; además, liberó aproximadamente 1220 toneladas de mercurio en el medio terrestre y en los cuerpos de agua dulce. (PNUMA 2018, párr. 10).

2.3.2.2 Sector secundario

Comprende todas las actividades económicas relacionadas con la transformación de la materia prima obtenida en el sector primario para la elaboración de productos de consumo. Dentro de ellas se encuentra: la industria manufacturera, el suministro de electricidad, gas, agua y la construcción.

Dentro de este sector destaca la fabricación de: cemento, materiales no ferrosos, materiales electrónicos, refinación de petróleo, la combustión estacionaria de carbón, gas y petróleo y la producción cloro-álcali. Todas las anteriores dentro de sus procesos productivos generan emisión de mercurio a la atmosfera.

2.3.2.3 Sector terciario

Este sector se asocia con las actividades ligadas a proveer de servicios a la sociedad como el comercio, las comunicaciones, el turismo, la educación, administración pública, etc.; la actividad que más libera mercurio al ambiente en este sector está asociada con la producción de los desechos y la incineración de residuos.

2.4 Exposición ambiental a mercurio

El término exposición se refiere al contacto del ser humano con un agente físico o químico, tomando en cuenta su cantidad y el tiempo de exposición (University of Arizona, 2020, párr. 5).

En epidemiología ambiental (Beaglehole et al. 2003, p.123), la exposición cuenta con dos dimensiones, las cuales son: el grado y la duración, relacionado con factores ambientales que originan efectos más o menos inmediatos a partir de la exposición, el nivel que adquiere la causa establece si el efecto se produce o no.

Según The Caribbean Environment Program (2014), la exposición se conoce como el escenario de contacto positivo con el elemento o compuesto, tomando en consideración su concentración, y el tiempo de exposición o vida media de la sustancia (citado por Fernández 2017a, p. 23).

Los impactos de la exposición en una población a los tóxicos ambientales presentes en un sitio contaminado son evaluados por la toxicología ambiental. Se dice que el efecto o respuesta tóxica es aquella que produce desviación en el funcionamiento normal de un organismo, a manera de respuesta biológica, y depende del periodo y la frecuencia de la exposición (Chamizo, 2018).

Sabiendo que los efectos de una sustancia dependen de los parámetros citados anteriormente, entra en juego el concepto de dosis, para entender los efectos de un tóxico en el organismo.

2.4.1 Dosis

La dosis ha estado vinculada desde la antigüedad con la raza humana, según la Universidad de Arizona (2020), cuando el hombre primitivo experimentó con

determinadas cantidades de veneno o tóxicos encontrados en la naturaleza, con el fin de defenderse, curar enfermedades o matar animales.

Además, responde a la cantidad de sustancia administrada a un organismo, de acuerdo con su peso corporal en un intervalo de tiempo. La dosis se ha clasificado de dos formas en la medicina: la dosis externa, ingesta o suministrada, que es la cantidad de contaminante con la que los receptores entran en contacto por unidad de tiempo y masa corporal (mg/kg/día); y la dosis absorbida que es aquella que entra en el torrente sanguíneo, se distribuye e interacciona con el ser vivo (Chamizo, 2018).

La dosis suministrada es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$D_s = (C T F D) / (M P)$$

En donde, C es la concentración promedio durante el período de exposición; T es la tasa de contacto o la cantidad de medio contactado por unidad de tiempo, sus unidades dependen del estado físico del medio; habitualmente: L/día (líquidos), mg/día (sólidos), m³/día (gases); F es la frecuencia de exposición (días/año); D es la duración de exposición (años); M es la masa corporal media durante la exposición (kg), y P es el tiempo de promediación (días) (Chamizo, 2018).

Por otra parte, la dosis absorbida se puede obtener mediante el producto de la dosis suministrada y de un factor de absorción; entendiendo el último, como el límite superior de confianza al percentil 95 de la probabilidad de respuesta, basado en antecedentes de experimentación con animales.

En cuanto a niveles de concentraciones de mercurio en el ambiente, Occupational Safety and Health Administration (OSHA, por sus siglas en inglés) establece un límite permisible de exposición de 0,1 mg/m³, para una jornada laboral de 8 horas. Por su parte, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, por sus siglas en inglés), define que el límite de exposición recomendado es de 0,05 mg/m³ como vapor de mercurio promedio para 10 horas, y 0,1 mg/m³ como mercurio, y que no se debe exceder en ningún momento. Por último, American Conference of Governmental Industry Hygienist (ACGIH, por sus siglas en inglés), cuenta con límites más estrictos, siendo 0,025 mg/m³ durante 8 horas (Fernández 2017a, p.23).

El nivel de mercurio también puede ser detectado a través de la sangre, según la autora citada anteriormente: concentraciones menores a 3µg/dL, son consideradas normales; mientras las mayores a 4µg/dL, son anormales (p.25).

Por otra parte, se debe de tomar en cuenta la vía o ruta por la cual el agente entra en contacto con el individuo, ya que este factor es uno de los que más influye sobre los efectos tóxicos de un contaminante, pues de ella depende que este sea modificado, biotransformado, bioactivado o que no lo sea.

2.4.2 Vías de contacto con el ser humano

El ingreso del mercurio en el cuerpo humano puede darse por medio de las vías respiratoria, digestiva y cutánea; siendo las dos primeras las más importantes, y la transplacentaria para fetos.

2.4.2.1 Vía respiratoria. Es de suma importancia para las personas que están expuestas ocupacionalmente, tanto al mercurio elemental como al inorgánico y sus compuestos. De acuerdo con Ramírez (2008), el metal puede ingresar por inhalación y alcanzar la sangre con una eficiencia del 80% (p.57).

2.4.2.2 La vía digestiva. Los alimentos y el agua contaminados con mercurio entran en el tracto gastrointestinal, el mercurio inorgánico es absorbido en pequeñas cantidades menores a 0,01%; quizá, se deba a la imposibilidad del metal por reaccionar con moléculas biológicas significativas. Del mismo modo, los compuestos inorgánicos de mercurio (sales), son absorbidos entre 2 y 15%, dependiendo de su solubilidad. Mientras que, en contraste, la absorción de los compuestos orgánicos por esta vía es del 95%, independiente de si el radical metilo está unido a una proteína o no (Ramírez, 2008, p.47).

2.4.2.3 La vía transplacentaria. La placenta tiene muchas funciones como el paso de nutrientes esenciales de la madre hacia el feto, protección térmica y ante golpes; sin embargo, puede existir absorción de los tóxicos por medio de ella.

Se han encontrado altos niveles de mercurio en el cordón umbilical de recién nacidos en Bytom, según Kozikowska et al. (2013), los valores del cordón excedieron la dosis de referencia establecida por EPA. Este resultado pudo deberse al hecho de que las mujeres estudiadas han vivido en una zona muy contaminada (p.256).

Además, existen factores sociales que influyen en los efectos de la exposición como el nivel de educación y en el caso de la exposición laboral interesa saber sobre el uso o no de equipo de protección personal.

2.4.3 Nivel de escolaridad

El nivel de escolaridad ha sido estudiado en población expuesta al mercurio según Fernández (2017a), un menor grado de estudios denota menos oportunidades para integrarse en un sistema laboral formal, con buenas condiciones de salud y, por ende, las personas con niveles de educación inferior son más propensas a integrarse en trabajos informales, como lo es la minería de oro artesanal llevada a cabo en Abangares, Costa Rica (p.85).

En Antioquia, Colombia, se ha realizado el perfil de mujeres expuestas al mercurio, en periodo de lactancia, dicha población presentó altos niveles de mercurio en la leche materna y como resultado se obtuvo que cuentan con las siguientes características: estudios primarios, llevan amalgamas, habitan viviendas con condiciones precarias y no tienen servicios públicos domiciliarios (Molina et al. 2018, p.25).

2.4.4 Uso de equipo de protección personal

Este es utilizado con el fin de proteger la salud del trabajador evitando el contacto con el agente toxico, puede ser categorizado como un factor de exposición cuando está ausente. Un estudio realizado en Perú evaluó el daño genotóxico en mineros producto de la exposición al mercurio, y este reveló que 93% de la población no utilizó equipo de protección personal durante la manipulación del metal (Rosales et al. 2013, p.595).

Además, otra investigación realizada en Costa Rica observó que los trabajadores mineros no utilizan equipo de protección personal como guantes en la manipulación del metal, ni mascarillas en el proceso del quemado (Fernández, 2017a, p.86).

2.5 Susceptibilidad del ser humano ante el mercurio

La susceptibilidad responde a la capacidad biológica para responder ante los contaminantes ambientales, anulando o retardando su efecto. Depende de factores hereditarios, del sistema inmunológico y del deterioro de la funcionalidad debido a enfermedades intercurrentes (Chamizo, 2018).

Según Ramírez (2008), es propio del individuo porque depende de condiciones particulares para cada uno de ellos, como: la edad, sexo, nutrición y demás factores biológicos sobre el riesgo de adquirir una patología (citado por Fernández 2017a, p.27).

La susceptibilidad a presentar enfermedades y síntomas relacionados con la exposición a mercurio ha sido asociada con fetos o niños y personas expuestas ocupacionalmente.

Durante esta investigación se tomarán en cuenta los grupos más susceptibles, los cuales están categorizados por edad temprana y embarazo y personas expuestas ocupacionalmente.

2.5.1 Edad temprana

Según la OMS, uno de los grupos especialmente susceptibles a los efectos del mercurio son los fetos, porque son sensibles en su desarrollo al entrar en contacto con el tóxico, a través de la exposición intrauterina, cuando la madre consume alimentos contaminados con mercurio; afectando el cerebro y el desarrollo óptimo del sistema nervioso del neonato (2020, párr.7).

Como principal consecuencia se presentan daños neurológicos, que pueden afectar al sistema nervioso central: memoria, pensamiento cognitivo, problemas al concentrarse, el lenguaje, desarrollo motor y espacio-visual fino del niño.

Existen estudios realizados en Brasil, Canadá, China, Colombia y Groenlandia asociados al consumo de pescado contaminado con mercurio, en donde se observó que entre 1,5 y 17 de cada mil niños presentaban trastornos cognitivos (leve retraso mental), a causa del mercurio (OMS, 2020, párr.8).

2.5.2 Embarazo

Según Blando (2004), niveles de mercurio altos aumentan las tasas de aborto espontáneo y natural, óbito fetal y complicaciones a la hora del nacimiento. Esta tesis es inducida por investigaciones que han encontrado relación entre las tasas de aborto espontáneo y parejas en donde el hombre ha estado expuesto al contaminante; cabe mencionar que los resultados no son concluyentes, sin embargo, aluden a un potencial efecto (citado por Fernández 2017a, p. 28).

Además, estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos sugieren que niveles altos de metilmercurio en el torrente sanguíneo de los fetos en desarrollo, pueden provocar daños en el sistema nervioso, perturbando su capacidad para pensar y aprender (2018, párr.17).

De lo anterior se deduce que la condición de embarazo es susceptible para desarrollar efectos negativos en la salud de los niños o la muerte, al contar los fetos con un sistema nervioso menos desarrollado que el de los adultos.

2.5.3 Historial clínico

De acuerdo con Blando (2004), personas que presentan enfermedades en su historial clínico como las relacionadas con el riñón, Sistema Nervioso Central (SNC) o pulmón adquieren un riesgo elevado de adquirir problemas adversos en la salud por la exposición al mercurio (Citado por Fernández 2017a, p.28).

Este aumento en la susceptibilidad podría estar relacionado con la interacción del metal con los órganos. El mercurio tiene afinidad por depositarse en el encéfalo, riñón e hígado, en cuanto al pulmón, este es el órgano más expuesto al contacto directo con mercurio gaseoso o elemental. Mientras que en el hígado y en riñón, es depositado después de haber interactuado con el pulmón y el sistema circulatorio.

En relación con el sistema nervioso central, un factor que puede influir en la susceptibilidad es que “la concentración del mercurio en el cerebro es 5 veces la concentración en sangre y en el pelo unas 250 veces. En el cerebro el MeHg se desmetila a mercurio inorgánico y forma complejos insolubles con el selenio que se mantienen durante años” (González et al. 2014, p.974). Lo cual hace que un antecedente médico en este órgano eleve el riesgo.

Los mismos autores indican que la forma anteriormente mencionada, en los sistemas biológicos puede formar complejos con cisteína, homocisteína, glutatión o albúmina, entre otros; por este motivo no existe una sola molécula diana capaz de explicar la multitud de efectos neurotóxicos atribuidos al MeHg en el SNC, por lo cual padecimientos en el mismo, aumentan la susceptibilidad a desarrollar enfermedades por la exposición a metal.

2.6 Riesgo a enfermar debido a la exposición a mercurio

El Riesgo es la probabilidad de su sufrir un daño a la salud, el cual es explicado por la siguiente función, $R = f$ (concentración contaminante, exposición, susceptibilidad) (Chamizo, 2018). Lo cual indica que para que exista el riesgo deben de existir concentraciones de contaminantes a los cuales se esté expuesto, y además que existan condiciones de susceptibilidad que aumentan los efectos negativos a contraer una enfermedad o resultados negativos en la salud de un individuo o población.

El concepto del riesgo según The Caribbean Environment Programme (2014), se entiende como una función de la peligrosidad (toxicidad del compuesto), magnitud y duración de la exposición (contacto real hasta que la sustancia entre a ese organismo) (citado por Fernández 2017a, p.26).

Por otra parte, la Universidad de Arizona (2020), define el término "peligroso" como la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos; por su parte, el "riesgo" describe la probabilidad de que, en una situación dada, una sustancia peligrosa produzca un daño

Además, aquella proporción de la población que es capaz de sufrir una enfermedad es llamada población expuesta al riesgo (Beaglehole et al. 2003, p.13).

2.6.1 Efectos del mercurio en el ser humano

El mercurio causa efectos en la salud del ser humano dependiendo del tiempo de la exposición, por lo general una exposición aguda se da en un tiempo de 24 horas, debido a una sola exposición; sin embargo, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATDSR, por sus siglas en inglés), ha categorizado las exposiciones de la siguiente manera, aguda es aquella que se genera en menos de 14

días, la sub-crónica dura de 15 a 365 días, y crónica más de 365 días. (Chamizo, 2018).

2.6.1.1 Síntomas crónicos y agudos. Su forma metálica afecta a la salud especialmente cuando se inhala como vapor y es absorbido por los pulmones, según EPA, (2018), los síntomas tanto de exposiciones amplias en el tiempo como agudas causan: temblores, cambios emocionales (de humor, irritación, nerviosismo y timidez excesiva), insomnio, cambios del sistema nervioso muscular (atrofia, debilidad y espasmos), dolores de cabeza, cambios en las respuestas nerviosas, desempeño pobre en evaluaciones de función mental. Por su parte, mayores exposiciones pueden afectar: los riñones, causar falta de eficiencia en la respiración, y posteriormente la muerte (párr.14).

Según Chieco y Bonifazi (2008), se han reportado casos de niños que presentaron síndrome del babuino o dermatitis alérgica de contacto sistémico, al ser expuestos a la inhalación de vapores de mercurio posterior a la ruptura de termómetros. (p.9)

En cuanto a las enfermedades asociadas al mercurio por exposición crónica, un estudio realizado en Bogotá, Colombia, sobre el perfil sociodemográfico y epidemiológico, de personas expuestas a mercurio, encontró una incidencia significativa de enfermedades de tipo inmunológica, digestiva y del sistema nervioso. Infante et al. (2010, p.114)

Además, según Muñoz et al. (2012), en su estudio sobre daños a la salud en población minera expuesta al mercurio, los padecimientos más reportados fueron los temblores, la pérdida de la memoria, y el dolor de cabeza; los cuales están ligados con el deterioro en el SNC (p.56).

2.6.1.2 Mecanismos fisiopatológicos: Según González et al. (2014), además de los efectos nocivos del mercurio en el SNC, el estrés oxidativo, es un factor fundamental de la neurotoxicidad del MeHg, porque tiene una elevada afinidad por los grupos sulfhidrilo del glutatión, N-acetilcisteína, ácido alfa lipoico y el selenio, entre otros compuestos antioxidantes; al disminuir la cantidad de los antioxidantes mencionados, el estrés oxidativo aumenta. Por otra parte, el Hg también es capaz de unirse a receptores estrogénicos y comportarse como disruptor endocrino. Del mismo modo, sobre el siste-

ma cardiovascular genera inflamación, estrés oxidativo, trombosis, dislipidemia, disfunción endotelial y modificación de la respuesta inmune y mitocondrial (p.974).

También los autores anteriores, indican que cuando el mercurio reduce la biodisponibilidad del selenio, disminuye la actividad del glutatión peroxidasa, suscitando también la peroxidación lipídica y la aterosclerosis, que causa la acumulación de grasa, colesterol y otras sustancias en las arterias. Del mismo modo el mercurio en su forma orgánica puede actuar como un agente ambiental de carácter teratógeno, lo cual hace que el desarrollo de un organismo se desvíe hacia la anormalidad, dando paso a alteraciones congénitas.

CAPÍTULO III

3. Metodología

El presente capítulo tiene como fin abordar la descripción general de la estrategia investigativa, al ser una revisión sistemática, se presentan los criterios de elegibilidad de los estudios, las fuentes de información, la estrategia de búsqueda, el proceso de selección de los estudios, el proceso de extracción de los aspectos de interés y su operacionalización, la síntesis de los resultados, las consideraciones éticas y el cronograma de trabajo.

3.1 Descripción general de la estrategia

La estrategia investigativa se estructuró alrededor de una recopilación de artículos publicados y reunidos en las bases de datos de la Universidad de Costa Rica; con el propósito de hacer un análisis sistematizado a partir de criterios de ordenamiento de la información sobre la contaminación, exposición y riesgo a enfermar por mercurio. Para realizar esta exploración se usó la revisión sistemática, la cual es una forma de sintetizar la información más relevante, porque muchos estudios poseen limitaciones de diferente naturaleza y no solamente uno permite dar respuesta a lo que se desea investigar.

Este tipo de revisiones son originales y auténticas por sí mismas puesto que, como cualquier otro método de investigación posee un protocolo u orden de pasos a seguir, en general el orden de pasos estandarizados es: una pregunta de investigación, una estrategia de búsqueda clara y reproducible, una localización y selección de estudios, extracción de datos, evaluación de la calidad de la evidencia, análisis y presentación de los resultados.

Revisión sistemática. Como lo indica Pérez (2012) actualmente las revisiones sistemáticas se han alineado como un diseño de estudio único y nuevo, en donde la unidad de estudio no son las personas, sino más bien los trabajos documentales a estudiar (p.57).

Al optar por un tema tan amplio y bastante estudiado, hoy día existe una gran cantidad de datos en artículos científicos, que al ser sintetizados generan nuevo

conocimiento y en muchos casos, colaboran en la toma de decisiones. Al tener un fundamento sólido, a partir de una gran variedad de investigaciones, la revisión sistemática es una herramienta que facilita la manipulación de un gran número de datos.

Por lo anterior, se utilizó la guía de la Asociación Española de Enfermería en Cuidados Paliativos (AECPAL). Esta guía permitió tener un panorama conciso y general sobre cada paso, atendiendo las posibles necesidades metodológicas de la revisión sistemática.

1. El primer paso fue la formulación de la pregunta que se desea responder mediante la investigación.
2. El segundo paso fue la identificación de conceptos y términos de búsqueda. En este se accedió al software de las bases de datos, y se seleccionan criterios de búsqueda como “tipo” y “área” para tener acceso a todas las bases de datos que se desearon.
3. El tercer paso consistió en la selección de las fuentes de información o bases de datos, reduciendo así el número de recursos bibliográficos a utilizar.
4. En el cuarto paso estableció la estrategia de búsqueda, haciendo uso de las combinaciones “AND”, “OR” y “NOT”, y utilizando palabras claves, e intervalos de tiempo definidos, para la extracción de los artículos a analizar.
5. En el quinto paso se verificó la calidad de la evidencia científica de los artículos a analizar.
6. En el sexto se procedió a hacer el análisis de los datos y resultados, de forma descriptiva de cada estudio utilizando tablas y gráficos.
7. En el séptimo se presentaron los resultados más relevantes resumidos de forma organizada, su evidencia y análisis.
8. En el último paso, se redactaron las conclusiones, limitaciones y recomendaciones, a partir de la interpretación de los resultados obtenidos y los alcances en futuras investigaciones.

3.2 Criterios de elegibilidad

Para asegurarse de contar con artículos de calidad, los criterios estándares que se tomaron en cuenta fueron: el tipo de diseño, la validez (interna y externa) y la precisión de cada artículo; con el fin de valorar su alcance, estos elementos se incorporaron en una ficha de captura de datos (Anexos 3 al 9).

Tipo de diseño: este ítem fue significativo a la hora de tomar en cuenta el alcance del estudio. En epidemiología ambiental existen 4 tipos de diseño de estudios observacionales los cuales son: ecológicos, transversales, de cohortes y de casos y controles.

Los ecológicos: permiten analizar grandes poblaciones, beneficiando la validez externa, y es el diseño más recomendado para fundamentar hipótesis; sin embargo, cabe la posibilidad de sesgos de selección por mal diagnóstico y registro, la información disponible puede ser limitada y no se conoce con gran precisión la magnitud de los errores sistemáticos.

Los transversales: permiten determinar la prevalencia de patologías en una población en un momento dado; no obstante, tienen sus limitaciones, por sí mismos no se adaptan a la investigación causal, porque no hay un seguimiento, no se sabe que sucedió primero si la causa o el efecto.

Cohorte: los individuos son clasificados según la exposición al factor de riesgo, y seguidos en el tiempo con el fin de determinar la incidencia de la enfermedad, requieren un tiempo prolongado, y es común que sean utilizados en salud ocupacional para hacer un seguimiento de trabajadores expuestos a riesgos, una ventaja de estos estudios es que los sesgos son menos posibles.

Casos y controles: los casos son escogidos según la presencia del evento de estudio y los controles proceden de la misma población donde se presentaron los casos, estos pueden aportar información sobre solo una enfermedad en un solo estudio, o exposiciones relacionadas con una enfermedad específica.

Por otra parte, dada la heterogeneidad de la investigación, para sintetizar los datos de contaminación también se consideraron artículos con diseño experimental. Y se tomaron en cuenta artículos en idioma inglés y español.

3.3 Fuentes de información

Se seleccionó la base de datos de tipo referencial Scopus, con el fin de capturar aquellos artículos que no se encuentren en las bases de datos de texto completo y otra suscrita de texto completo Science Direct.

3.4 Estrategia de búsqueda

Una vez seleccionadas las fuentes de información, se realizó la búsqueda de los artículos utilizando las palabras clave: mercury emissions, quantification, primer sector, chlor alkali, stationary combustion of coal, stationary combustion of gas, stationary combustion of oil, manufacture of cement, nonferrous materials, isotope, waste, electronic, blood, concentrations, workers, protection, equipment, contact rate, exposure frequency, exposure duration, body mass, averaging time, prevalence, relative risk, odds ratio, child, illness y disease.

En un intervalo de tiempo comprendido entre los años 2015 y 2021, puesto que este reciente periodo refleja los datos actuales.

Además, cada combinación de palabras clave utilizó los operados booleanos:

- Y / AND: A and B (artículos que contienen los dos términos).
- O / OR: A or B (artículos con términos A, B o ambos).
- NO / NOT: A not B (artículos con A, pero no B).

Se tomó en consideración también si aparecieron un gran número documentos, para afinar más la búsqueda hasta que el número se ajustó al tema y fue operante su manejo.

3.5 Proceso de selección de los estudios

A continuación se brinda con detalle los procedimientos que se siguieron para la recolección de la información, apoyado en la guía de la Asociación Española de Enfermería en Cuidados Paliativos (AECPAL), y adaptada a la presente investigación.

3.5.1. Identificación de conceptos y términos de búsqueda. Se accedió a la base de datos suscrita en el Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información de la Universidad de Costa Rica, y se aplicó el filtro de tipo referencial y después de texto completo.

3.5.2. Selección de las fuentes de información. Se seleccionó Scopus y Science direct, como base de datos.

3.5.3. Establecimiento de estrategia de búsqueda. Se utilizaron las combinaciones de palabras clave del anexo 1, con sus respectivos los operadores booleanos.

3.5.4. Calidad de la evidencia científica. La calidad de la evidencia científica se verificó haciendo uso de la siguiente tabla.

Tabla 1. Tipo de estudio, validez y precisión para cada artículo a utilizar

Nombre del artículo	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	

Fuente. Elaboración propia, 2020.

La validez interna, se refirió a si la investigación es libre de errores internos, o al grado en que las conclusiones del investigador describen de forma correcta lo que sucedió en el estudio. Comúnmente se asocia a los errores sistemáticos, los cuales se disminuyen con la utilización del equipo calibrado, medios y personal adecuado, o con la reducción de sesgos, en este caso los sesgos de selección, información y confusión.

En cuanto a la validez externa, esta describe el grado en que las conclusiones son apropiadas o certeras, cuando se comparan a un universo exterior al estudio, o a la veracidad de generalizar los resultados de la muestra utilizada como si se hubiera utilizado la población total. El error asociado es el aleatorio, que se disminuye aumentando la cantidad de muestra lo más que sea posible, para disminuir el error estadístico y que los resultados se asemejen al de la población.

La precisión puede asociarse a un instrumento o a la cantidad de muestra estudiada, cuando se refiere al primero, es la capacidad ya sea un aparato o una encuesta, para obtener el mismo valor cuantas veces sea aplicado midiendo lo mismo; es decir, se refiere al grado de confiabilidad, reproducibilidad y coherencia de un resultado.

También, cuando una investigación no es precisa es porque existe variabilidad, y se puede contrarrestar aumentando la muestra para aumentar la precisión; no obstante, muchos estudios llevados a cabo aceptan este tipo de desventaja trabajando con muestras reducidas ya sea por presupuesto o tiempo.

De forma complementaria se hará uso del enfoque Grades of Recommendation, Assessment and Development (GRADE, por sus siglas en inglés, Centro Cochrane Iberoamericano, 2012, p.373), el cual cuenta con dos etapas muy diferenciadas, siendo la primera de ellas la de calidad y la segunda de fuerza de asociación.

Por tanto, puede ser utilizado para evaluar únicamente la calidad de la información disponible sobre un tema, como al evaluar la calidad de la investigación en una revisión sistemática; sin embargo, este enfoque está inclinado a estudios de ensayos clínicos aleatorizados otorgándole un nivel alto de calidad, y a estudios observacionales colocándolos en el eslabón de calidad baja. A pesar de que la herramienta es insuficiente para valorar la precisión, los sesgos de selección, información y confusión propios de los estudios observacionales, servirá de forma adicional para evaluar ciertos ítems de estos.

GRADE tiene 4 niveles de calidad: alta, moderada, baja y muy baja, clasificados según el tipo de diseño y los puntos que se le han sumado o restado al valorar la imprecisión, probabilidad en sesgos de publicación y el efecto del estudio, es importante recalcar que se utilizarán los criterios pertinentes únicamente para los estudios observacionales según dicha herramienta.

Tabla 2. Niveles de calidad en el enfoque GRADE

Criterio de calidad	Puntuación
Estudios observacionales con una calificación dos veces más alta.	ALTA (+ + + +)
Estudios observacionales con una calificación más alta.	MODERADA (+ + + -)
Estudios observacionales.	BAJA (+ + - -)
Estudios observacionales con una calificación más baja.	MUY BAJA (+ - - -)

Fuente. Centro Cochrane Iberoamericano, 2012.

A continuación, se presentan los pasos que se siguieron para utilizar el enfoque:

Paso 1. El enfoque GRADE, parte para los estudios observacionales con una calificación baja.

Paso 2. Subir o bajar la calificación inicial.

Tabla 3. Criterios para bajar o subir la calidad de artículos observacionales según GRADE

Disminuirá dependiendo de: 1.Limitaciones en el diseño y la implementación de los estudios disponibles que indican una alta probabilidad de sesgo. 2. Imprecisión de los resultados (intervalos de confianza amplios). 3. Alta posibilidad de sesgo de publicación.	Subirá dependiendo de: 1. Gran magnitud del efecto. 2.Todos los posibles factores de confusión reducirían un efecto demostrado, o indicarían un efecto espurio cuando los resultados no muestran un efecto.
--	---

Fuente. Centro Cochrane Iberoamericano, 2012.

Si se encuentra un motivo para bajar la calidad se le clasifica como una falta “grave”, la cual disminuirá un nivel la puntuación o “muy grave” que disminuirá la calificación dos niveles. El revisor deberá utilizar el sentido común para determinar esta magnitud. Por lo tanto, se utilizó la siguiente tabla (anexos 7 y 8), con información

necesaria de ciertos artículos en relación con los criterios de calidad, y posteriormente se evaluó en conjunto la calificación final del mismo.

Tabla 4. Criterios de calidad para cada artículo a utilizar.

Nombre del artículo:	Si	No	Puntaje
Autor:			
Imprecisión de los resultados			
¿Los estudios incluyen pocos participantes y por tanto sus intervalos de confianza son amplios?			
Alta probabilidad de sesgo de publicación			
¿Los estudios no muestran un efecto (sesgo de publicación), ni resultados (sesgo de informe selectivo)?			
Para aumentar la calificación			
¿Existen efectos grandes en el estudio observacional, con ausencia de factores de confusión, por ejemplo, OR $\leq 0,2$ y ≥ 5 e IC del 95%?			
¿Todos los posibles sesgos actúan juntos para sobreestimar el efecto?			
Puntaje final			

Fuente. Elaboración propia, 2020, adaptado de Centro Cochrane Iberoamericano, 2012.

3.6 Proceso de extracción de aspectos de interés y su operacionalización

A continuación, se brindan las variables, los indicadores y el tipo de instrumentos utilizados, según los objetivos de la investigación

Tabla 5. Cuadro de operacionalización de las variables de estudio

Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Tipo de instrumentos
<p>Describir los contextos generales donde se ha cuantificado una contaminación por mercurio a raíz de actividades naturales o antropogénicas y según el tipo de fuente primario, secundario y terciario.</p>	<p>Tipo de fuente en función del medio contaminado</p>	<p>Concentraciones de Hg en aire (ng/m³)</p>	<p>Revisión sistemática</p>
		<p>Concentraciones de Hg en agua (mg/L)</p>	<p>Revisión sistemática</p>
		<p>Concentraciones de Hg en suelo (mg/kg)</p>	<p>Revisión sistemática</p>
<p>Caracterizar los tipos de exposición a la contaminación ambiental por mercurio y sus compuestos a partir de casos reportados en localidades nacionales e internacionales.</p>	<p>Exposición</p>	<p>Concentraciones de Hg en sangre (µg/L)</p>	<p>Revisión sistemática</p>
		<p>Tasa de contacto (L/día, mg/día o m³/día)</p>	<p>Revisión sistemática</p>
		<p>Frecuencia de exposición (días/año)</p>	<p>Revisión sistemática</p>
		<p>Duración de la exposición (años)</p>	<p>Revisión sistemática</p>

		Masa corporal (kg)	Revisión sistemática
		Tiempo de promediación (días)	Revisión sistemática
		Nivel de educación	Revisión sistemática
		Uso de equipo de protección personal	Revisión sistemática
Determinar el riesgo de una población a enfermar por exposición al mercurio o sus compuestos para contribuir a generar lineamientos básicos para promover ambientes libres de mercurio en Costa Rica.	Susceptibilidad	Edad	Revisión sistemática
		Embarazo	Revisión sistemática
	Riesgo	Síntomas agudos y crónicos	Revisión sistemática
		Enfermedades respiratorias	Revisión sistemática
		Enfermedades neurológicas	Revisión sistemática
		Enfermedades gastrointestinales	Revisión sistemática

Fuente. Elaboración propia, 2020.

3.7 Riesgo de sesgo en los estudios

Los sesgos propios de la revisión sistemática son los sesgos de publicación y los de difusión, en cuanto al primero de ellos, los artículos seleccionados son vulnerables a los sesgos que existen en la publicación; es decir, que los estudios publicados no representan todos aquellos que son de alta calidad. No obstante, las investigaciones con resultados positivos y estadísticamente significativos son aquellos con más probabilidad a ser publicados, las fuentes de este tipo de sesgos son complejas e involucran tanto las decisiones de los autores como las de los editores Dickersin (2005), citado por Littell y Corcoran (2010).

Por otra parte, los de difusión están relacionados con el idioma, la disponibilidad, la familiaridad y el costo de los informes de investigación (Rothstein et al. 2005, citado por Littell, J. y Corcoran, J. 2010). Es decir que tendrán mayor probabilidad a ser publicados e identificados aquellas investigaciones escritas o traducidas al inglés que en otros idiomas; por lo tanto, para efectos de esta investigación se utilizaron publicaciones en idioma español e inglés mayoritariamente.

Para cada artículo recopilado se valoró la ausencia o presencia de los siguientes sesgos, con el fin de determinar su validez (anexos 2 al 9):

Sesgos de selección: este se genera a la hora de seleccionar los sujetos, cuando hay una mala selección de controles, autoselección, diagnóstico o supervivencia.

Sesgos de información: se refieren a los sesgos de memoria, del investigador y el asociado a la validez de los instrumentos.

Sesgo de confusión: producido por un factor de confusión, el cual es una variable independiente asociada al efecto estudiado.

3.8 Medidas de resumen

Para el primer apartado se utilizaron concentraciones de Hg total en agua, aire y suelo, con el fin de describir la contaminación en diferentes sectores; también se utilizaron las concentraciones de Hg en sangre para caracterizar la exposición en poblaciones expuestas ocupacionalmente y las medidas de: tasa de contacto, frecuencia de exposición, duración de la exposición, masa corporal y tiempo de

promediación. Por último, para determinar el riesgo a enfermar se utilizó la razón de probabilidades Odds Ratio y Riesgo Relativo (RR).

3.9 Síntesis de los resultados

Se realizó una síntesis de enfoque cuantitativo, dado que los resultados se apoyaron en la medición numérica de ciertos parámetros (tablas), además se realizaron análisis estadísticos (gráficos) en algunos casos, esto no quiere decir que el estudio sea un metaanálisis, puesto que no se puede llegar a la homogeneidad de datos para compararlos en su totalidad con análisis estadístico.

También, obedece a una investigación de tipo descriptiva, porque detalla características, propiedades y perfiles de personas, grupos, comunidades, objetos, procesos o fenómenos que requieren un análisis (Hernández et al. 2010, p.80); además el diseño propuesto es transversal, porque abre una ventana de tiempo específica (2015-2021).

3.10 Consideraciones éticas

Al tratarse de una revisión sistemática, en la presente investigación no participaron seres humanos, sin embargo, se veló por investigar bajo la tutela de los principios de la bioética.

Indirectamente se cumplió con el principio del respeto por la autonomía, al usar artículos científicos que ya han trabajado con grupos humanos y por ende han respetado su consentimiento, su privacidad y la confidencialidad de la información.

Se efectuó el principio de no maleficencia, referido a no causar daños de forma intencional, el cual está ligado al hecho de no lesionar los intereses de otra persona, estos intereses pueden referirse a la reputación, propiedad, privacidad o libertad. Por tanto, al tratarse de una revisión literaria se respetará la propiedad intelectual de los autores de los artículos a analizar.

También se incluye al principio de la beneficencia, porque la investigación se realiza con la primicia de promover el bienestar, a través de la presentación de los

resultados que serán de utilidad en el proyecto “Promoción de ambientes libres de mercurio en Costa Rica”.

Por último, se hace referencia al principio de la justicia, porque indirectamente una injusticia es cuando se le niega a una persona el bien al que tiene derecho, aplicado a la salud ambiental, todas las personas tienen derecho a un ambiente sano y equilibrado; por lo tanto, al contar con información que ayude a promover ambientes libres de contaminantes se incurre a la justicia ambiental.

3.11 Cronograma

Para finalizar el apartado metodológico se agrega el cronograma de trabajo, el cual expone el ciclo lectivo invertido en cada una de las actividades del desarrollo de la investigación.

Tabla 6. Cronograma de trabajo

Actividad	II ciclo 2021	I ciclo 2022	II ciclo 2022
Búsqueda de los artículos de la revisión bibliográfica.			
Selección y organización de los artículos.			
Preparación de los resultados y conclusiones.			
Defensa del trabajo final de graduación.			

Fuente. Elaboración propia, 2022.

CAPÍTULO IV

4. Resultados

Este capítulo presenta los hallazgos significativos de la revisión sistemática, para lo cual se describe la información recopilada mediante recursos, como lo son tablas y gráficos de elaboración propia.

Del mismo modo, versa sobre el proceso de selección de los artículos; se describen los contextos generales donde se ha cuantificado la contaminación por mercurio, según el tipo de fuente; se caracteriza la exposición ambiental a partir de la literatura consultada; por último, se determina el riesgo a enfermar por el metal, con el fin de generar lineamientos básicos para promover ambientes libres de mercurio en el país.

4.1 Selección de artículos

La selección de los artículos se realizó ingresando a las bases de datos del SIBDI-UCR, se utilizó la base de datos referencial Scopus, y la base de datos suscrita ScienceDirect; para cada base de datos, se procedió a realizar la recuperación de artículos utilizando los procesadores booleanos (AND y NOT), y las palabras claves o términos de referencia del anexo 1, contando con 14 combinaciones de palabras diferentes; también se limita la búsqueda a los años comprendidos entre 2015 y 2021, y solo a archivos tipo “artículos de investigación”. Durante este proceso se recuperaron 2847 documentos.

Acto seguido, se procedió a leer el título de cada artículo y seleccionar los que eran acordes con los objetivos de la presente investigación; para este punto se recuperaron 193 artículos, a los cuales se les aplicó el filtro de validez (ver anexos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9) y contenido (resumen, resultados y conclusiones de cada publicación); de forma complementaria, también se aplicó la evaluación GRADE (anexos 7 y 8), a los artículos que, según su diseño, se podían emplear; finalmente, se recopilaron cincuenta y seis, los cuales van a ser presentados en los siguientes apartados de este capítulo.

Se excluyeron aquellos artículos que tuvieran que ver con concentraciones de Hg en animales, amalgamas dentales, productos cosméticos y todos aquellos que por su naturaleza no tuvieran que ver con los objetivos y variables del presente estudio reflejados en la tabla 5.

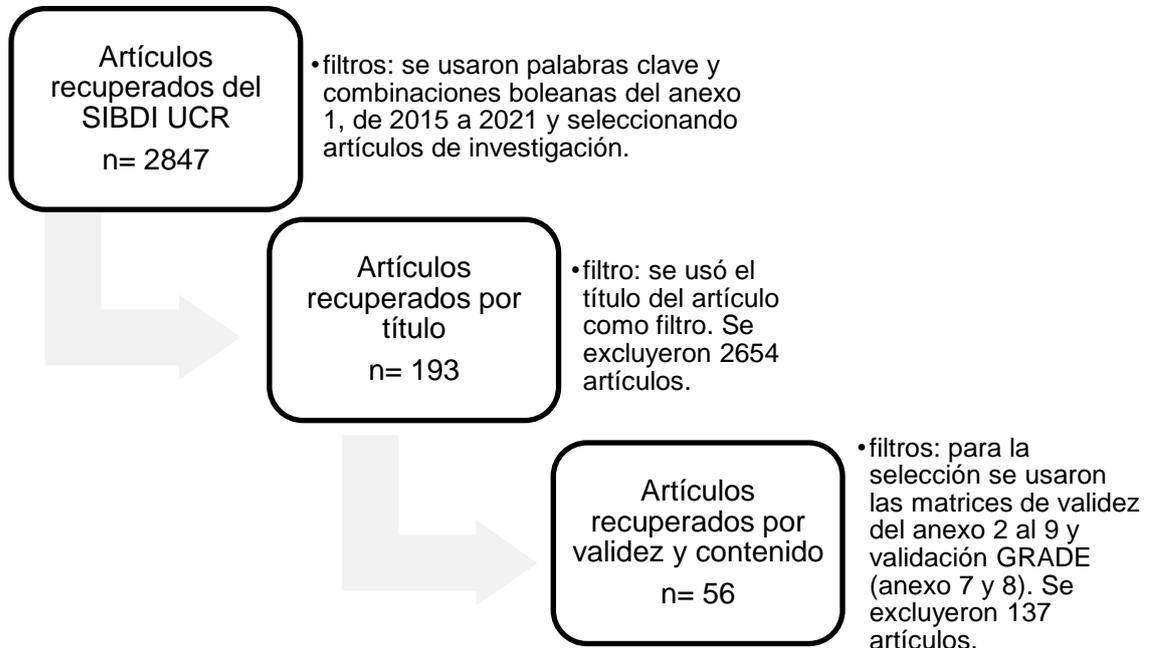


Ilustración 1. Diagrama de flujo de selección de los artículos. Fuente. Elaboración propia, 2022.

4.2 Contaminación ambiental por Hg según medio contaminado y fuente

En la actualidad, el mercurio es vertido al ambiente por diferentes procesos, ya sean industriales, de extracción de recursos o por desechos generados en la sociedad. Por este motivo, las personas y en especial los trabajadores se ven expuestos a concentraciones del metal en el ambiente. Del mismo modo, este interactúa con el suelo, el agua y el aire, por lo cual, el objetivo de este apartado es describir la contaminación ambiental por mercurio en zonas con mayor influencia de actividades antropogénicas, según el tipo de fuente, es decir: primario, secundario y terciario.

La tabla 7 muestra los datos de la concentración reportada en los artículos seleccionados, según medio contaminado (aire, agua y suelo) y categorizados por tipo de sector.

Tabla 7. Concentración total de mercurio en el aire, agua y suelo por sector primario, secundario y terciario

Sector	Actividad	Concentración			Autor
		Agua (mg/L)	Aire (ng/m ³)	Suelo (mg/kg)	
Primario	Minería de oro artesanal, Pinal de Amoles, México	-	275000	2385,5	Camacho de la Cruz et al. (2021)
	Actividad Minera, Idrija	-	427,3	972	Tomiyasu et al. (2017)
	Minería de oro Querétaro, México	4,6	350000	279,4	Saldaña, et al (2022)
	Extracción de cinabrio, República Checa, Jedová Hora Hill	-	24	69,52	Sysalova, J et al. (2017)
	Minería de oro Artesanal Yani, Bolivia	-	13000	120	Pavilonis, B et al. (2017)
	Minería de oro Artesanal el Dorado, Bolivia	-	9400	1440	
	Producción de arroz, Wanshan, China	-	369	36,8	Chang et al. (2020)
	Secundario	Fábrica de cloro-álcali (Italia)		-	22
Planta siderúrgica, Tangshan Iron and steel		-	-	9,26	Yang, L et al. (2020)
Planta siderúrgica, Jinxi Iron and Steel		-	-	62,47	
Planta siderúrgica, Guofeng Steel		-	-	77,3	
Planta siderúrgica, Jianlong Iron and Steel		-	-	63,9	
Planta siderúrgica, Hebei Shougang		-		51,2	
Industria de cemento, Tonasa, Indonesia		0,000075- 0,0020	1012-4117	0,032	Anwar M., et al. (2020)

	Ciudad industrial, Vanadzor, Armenia	-	-	0,27	Sahakyan, E, et al. (2019)
	Ciudad industrial, Tangshan, China	-		0,26	Cui, Wang y Liu (2020)
	Central eléctrica de carbón, Laguna Verde, Chile	-	-	0,017	Perez, E et al. (2019).
	Central eléctrica de carbón, Renca, Chile			0,35	
	Central eléctrica de carbón, Huasco, Chile			0,024	
	Central eléctrica de carbón, Las Ventanas, Chile			0,18	
Terciario	Incineración de residuos (China)			10	Zhou, J et al. (2015)
	Relleno Sanitario, Knope, Ghana			7	Obiri-Nyarko, et al. (2021)
	Coprocesamiento de residuos en fábrica de cemento, China			0,19	Wang, C et al. (2018)
	Vertedero abandonado, Kronum, Ghana			0,04	Akanchise T, et al. (2020)
	Vertedero abandonado, Amakon, Ghana			0,2	
	Quema forestal controlada			4,9	Abraham et al. (2018)
	Plantas informales de reciclaje de residuos electrónicos			15,2	Nurbaidah y Delgado (2020)

Fuente. Elaboración propia, 2022.

En la tabla 7, se puede observar que la mayor cantidad de información referente a las concentraciones de mercurio total se encuentra en el sector primario, mayoritariamente en estudios de evaluación de la contaminación en minería de oro, extracción de cinabrio y agricultura. Sin embargo, las concentraciones de mercurio en la agricultura se atribuyen a su cercanía con zonas mineras. Por su parte, el mercurio encontrado en la minería de oro se debe al uso del metal en el proceso de amalgamación y fundición.

También es posible apreciar que la mayoría de los artículos cuantificaron la cantidad de Hg en suelos, seguido del aire y minoritariamente en el agua. Esto puede ser debido a que el mercurio es depositado y medido fácilmente en superficies estáticas; como el suelo, en comparación con medios aéreos o acuáticos, que presentan más dinamismo y movilidad.



Ilustración 2. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector primario, Fuente. Elaboración propia, 2022.

*Según la EPA, el nivel de referencia para suelos debe ser de 23mg/kg, y el decreto ejecutivo N°37757 de Costa Rica establece los valores de intervención para suelos industriales 70mg/kg, suelos residenciales 36mg/kg y suelos agrícolas 12mg/kg, y el valor de prevención 0,5mg/kg.

A partir de la ilustración 2, se puede observar que las mayores concentraciones de mercurio se han encontrado en el área minera de Pinal de Amoles, Querétaro; el Dorado, Bolivia y en Idrija, Eslovenia. Estos sitios sobrepasaron de forma desmedida los valores de referencia, a pesar de que estos valores opacan las concentraciones de los demás sitios, todos los demás sobrepasan los niveles de referencia según la EPA.

Cabe destacar que la minería de oro artesanal en Pinal de Amoles, Querétaro México, además de ser influencia en el ambiente ha puesto en riesgo a los mineros en la mina de la Soledad. Los valores en el suelo reportados fueron de hasta 952 a 5964 veces más altos que en el sitio de referencia; es importante señalar que en los patios traseros de las casas de la comunidad minera también se hacen labores de calcinación, lo cual puede inferir en la deposición de Hg (Camacho de la Cruz et al. 2021, p.541).

En la minería de El Dorado y Yani, ubicada en los Andes Bolivianos, además se evaluó el riesgo de desarrollar enfermedades no cancerígenas, el cual estuvo asociado a la exposición de Hg y As y el riesgo a desarrollar cáncer aumento en adultos mineros que tenía una probabilidad de 1,3 sobre 100. Otros factores de riesgo descritos fueron que los mineros calentaban las amalgamas en sus hogares lo cual expone a los niños, mujeres embarazadas y otros miembros de la familia, además esta práctica se realizaba sin equipo de protección personal (Pavilonis, B et al, 2017, p. 1).

Por otra parte, la minería de Idrija contaminó por 500 años el ambiente, siendo la segunda mina de oro más grande del mundo, cerrando en la década de 1990; a pesar de ello, las concentraciones de mercurio aún prevalecen (Tomiyasu et al. 2017, p.245).

Otra mina de oro ubicada en Querétaro, México, ha afectado al pueblo de Camargo, en este lugar la minería se lleva a cabo de manera informal y precaria, y la principal fuente de mercurio es por medio de la quema de cinabrio, los mineros padecen de enfermedades importantes como la diabetes y problemas renales, lo cual podría ser un factor de riesgo (Saldaña et al. 2022, p.5).

En República Checa el Hg se ha encontrado en cantidades alarmantes cerca de una mina de donde se extraía cinabrio y una planta que procesaba fungicidas a base de mercurio. Según Sysalová, et al. (2017), en ambos suelos se puede observar que aun después de 150 años del cierre de la mina, y 40 años después del cierre de la planta de fungicidas, aún se encuentra especies de mercurio, que con el tiempo

podrían interactuar con el ambiente y convertirse en formas orgánicas más tóxicas para los microorganismos; la cantidad máxima de mercurio total en la mina fue de 144 mg/kg, lo cual es una cantidad excesiva (p.1037).

En Wanshan, China, se estudió la contaminación de un arrozal debido a la minería de mercurio. Wanshan es conocida como la capital del mercurio por sus históricas actividades mineras a gran escala y las artesanales ilegales, éstas han dado origen a niveles extremadamente altos en el suelo agrícola circundante a la zona, lo cual es muy preocupante porque es muy probable que las raíces puedan absorber las formas de mercurio biodisponibles en el suelo y así exponer a la población por medio de la alimentación. (Chang et al. 2020, p. 3228-3229).

De la misma forma en Gouxi, China, en un estudio más actual se cuantificaron las concentraciones de mercurio en un arrozal, cercano a una fuente de minería de oro artesanal, este lugar ha practicado esta actividad a lo largo de los siglos, la minería a gran escala se detuvo en 2001, no obstante, la artesanal aún continúa (Aslam et al. 2022, p.3).



Ilustración 3. Gas de mercurio elemental en el aire según actividades del sector primario. Elaboración propia, 2022.

*Según la Comisión Europea, el nivel de referencia para el Hg en el aire en zonas rurales debe estar en el rango de 1,2 a 3,7 ng/m³, y para zonas urbanas de 5 a 20 ng/m³,

según la ACGIH menciona como permisible una exposición a 25000ng/m³ en trabajadores.

Con respecto a las concentraciones de mercurio elemental, las mineras de Querétaro fueron las que reportaron mayores emisiones; seguidas por las de Bolivia, donde el Hg se ha movilizado hasta la aldea cercana a las minas; en la mina de Washan se ha reportado esta movilidad en los campos de cultivo de arroz y en Idrija, Eslovenia, se ha detectado la interacción del Hg elemental en las hojas de las plantas.

Se han encontrado concentraciones de Hg muy altas en la minería de oro de la Estrella, Camargo, estado de Querétaro, y por mucho supera los valores de referencia. En este estudio también se reportó que el 17% de los trabajadores tenían problemas renales y de diabetes; es importante mencionar que también las muestras de agua estuvieron por encima de lo permitido, mostrando el valor más alto de 0,0046mg/L, el 88% de trabajadores usaban esta fuente para consumo por las altas temperaturas y el ejercicio extenuante que representan las labores de minería (Saldaña et al., 2022, p. 5-6).

Con respecto a las minas en Pinal de Amoles, se encontraron valores que sobrepasaron la normativa para espacios ocupacionales, en los hornos artesanales el promedio de mercurio elemental fue 275000 ng/m³. ATSDR indica que ante una exposición de 10000 ng/m³ la población debe ser evacuada; al mismo tiempo el nivel de Hg en la orina del 93% de los mineros estudiados indicó exposición crónica sobrepasando los niveles permitidos por la ACGIH (Camacho de la Cruz et al., 2021, p.541).

Tanto en Yani como en El Dorado los valores de Hg elemental fueron muy elevados y las concentraciones no solo se aislaron en la mina, sino en la aldea cercana, lo cual podría deberse a la capacidad del Hg por moverse mediante la volatilidad. Otro aspecto importante fue que los mineros no usaban equipo de protección personal ni guantes a la hora de manipular material amalgamado (Pavilonis et al., 2017, p. 6).

En todos sitios mencionados, solamente en Pinal de Amoles se analizaron muestras de agua, según Camacho de la Cruz et al. (2021), a pesar de que el 82% de las muestras de agua en la mina la Soledad fueron inferiores a los valores de referencia, en el restante se encontraron valores de hasta 0,007ng/L (p.541). Otro estudio realizado en Gouxi, China, detectó que el agua de lluvia que recibió un cultivo

de arroz obtuvo valores de mercurio total significativamente elevados, del mismo modo el agua que se usó para riego.

Según el Decreto Ejecutivo N°38924 de Costa Rica, el nivel de referencia para el Hg es de 0,001mg/L para potable y 0,001-0,002 para agricultura, según EPA el nivel de referencia es de 0,002 mg/L, por tanto, los niveles mencionados anteriormente sobrepasan la normativa.

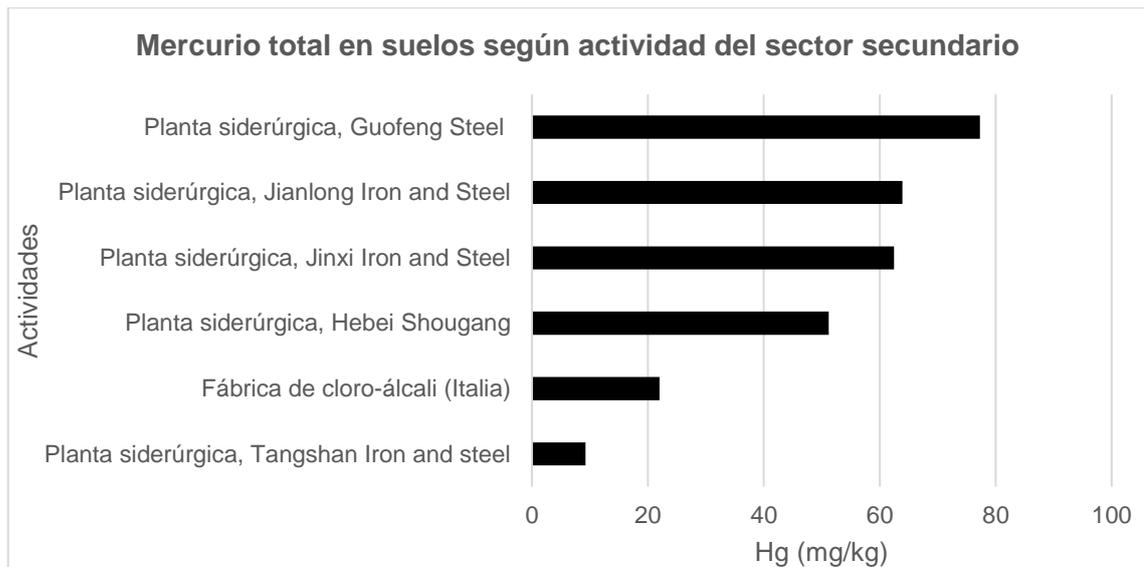


Ilustración 4. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector secundario más contaminante. Fuente. Elaboración propia, 2022.

El sector secundario también sigue el patrón del sector primario en lo que respecta al medio cuantificado, las concentraciones en el suelo son las más reportadas para este sector. La literatura evidenció sitios industriales dedicados a la fabricación de cloro-álcali, plantas siderúrgicas, fabricación de cemento y centrales eléctricas.

Se puede observar cómo los niveles de mercurio son relativamente más bajos que los reportados en el sector primario, lo que podría deberse a que estos sitios están obligados a cumplir con la normativa de emisiones en sus respectivos países, y por tanto las tecnologías en la depuración de los gases son más efectivas en comparación con la quema de mercurio en la minería artesanal; no obstante, los valores de mercurio en las plantas siderúrgicas de China y en la de cloro álcali fueron significativamente mayores.

Como es posible observar en la Ilustración 4, en Brescia-Caffaro, Italia, se liberaron grandes cantidades de Hg metálico en las corrientes de agua durante más de 90 años, mediante el uso de celdas de mercurio para la producción de cloro, estas terminaron en una red de canales de agua, que se utilizaron para el riego de más de cien hectáreas agrícolas. Las concentraciones de mercurio reportadas han persistido en el ambiente por un tiempo de 24 años, que fue cuando se dejaron de usar las celdas de mercurio (Morosini et al., 2021, p 1-3).

La producción de acero en Tanshang, se ha estado realizando por más de 70 años, produciendo además la emisión de Hg atmosférico. Tangshan cuenta con más de 300 plantas siderúrgicas, de ahí la preocupación por las emisiones de mercurio al ambiente. Partiendo de 5 plantas siderúrgicas ubicadas de forma separada, se evaluaron las concentraciones de Hg en el suelo, cercano a tierras agrícolas (maíz, castaña, calabaza, papas); en más del 90% de las muestras las concentraciones sobrepasaron los valores de fondo (0,04 mg/kg), y en muchos casos los valores de referencia. Los niveles de mercurio pico se encontraron entre los 250 y 300 m de las plantas y disminuía con la distancia y los niveles variaron de 4,69 a 129 mg/kg. Además, por el largo periodo de tiempo de deposición los suelos estaban altamente contaminados (Yang et al., 2020, p. 1-4).

Las concentraciones fueron disminuyendo especialmente en las centrales eléctricas, producción de cemento y ciudades industriales, como es posible observar a través de la siguiente ilustración. Además, los valores reportados en suelos no sobrepasaron la normativa nacional e internacional.

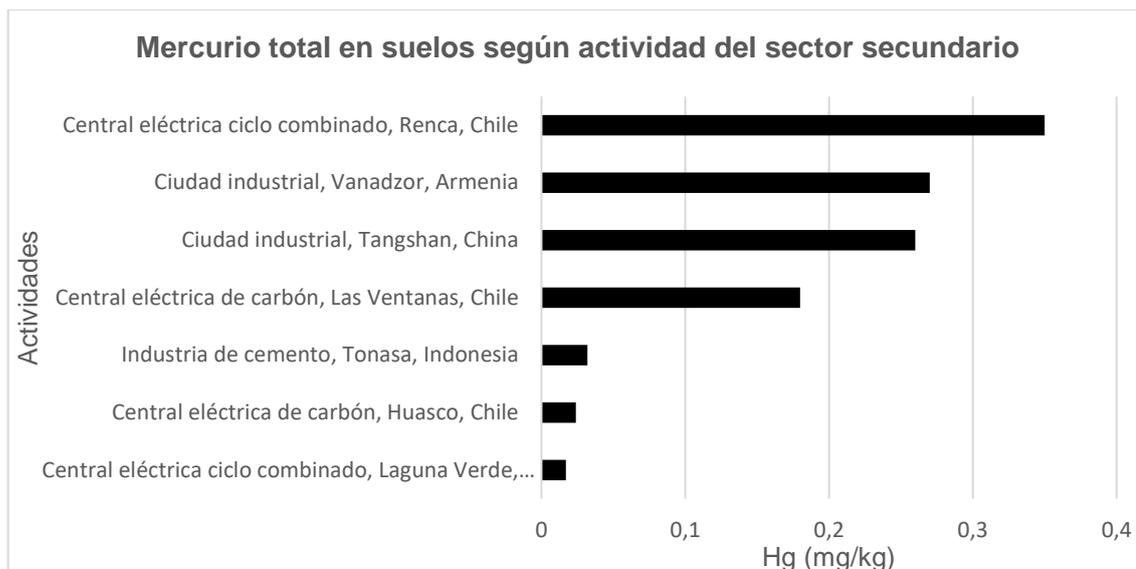


Ilustración 5. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector secundario menos contaminante. Fuente. Elaboración propia, 2022.

Para el caso de las mediciones realizadas en la comunidad cercana a la industria de cemento en Indonesia, los valores de mercurio total encontrados en suelo fueron significativamente bajos, y los riesgos ecológicos aún resultaron en una baja peligrosidad; sin embargo, esos valores podrían aumentar por la acumulación del elemento, lo cual sería un problema a largo plazo. A pesar de los niveles bajos en suelo, en aire los valores estuvieron muy por encima de lo permitido, esto podría deberse a que el desecho de mercurio mayormente vertido se da por volatilización. En cuanto a los valores reportados en el agua estuvieron cerca de la referencia en algunas muestras (Anwar et al., 2020, p 120-122).

La ciudad de Vanadzor, Armenia, fue una de las principales ciudades industriales del país, en 1978 ocurrió un accidente que provocó la explosión de bombas de vacío que liberó grandes cantidades de Hg a la atmosfera. Con el pasar del tiempo la ciudad disminuyó su capacidad de trabajo, a pesar de esto, sigue representado una fuente de emisión de mercurio a la atmosfera, las concentraciones cuantificadas en el suelo de la ciudad aún son muy bajas (0,266 mg/kg), no obstante, podría representar un riesgo a futuro por la acumulación (Sahakyan et al., 2019, p. 908-809).

En Chile, la generación de energía se concentra en las centrales que queman carbón, existe un subconjunto que se encuentra en áreas cercanas a zonas agrícolas (5 km); se compararon las concentraciones de mercurio total en cuatro centrales, dos

de ellas se encontraban en lugares donde eran la única actividad antropogénica y las otras dos centrales ubicadas en un complejo industrial aportaron las concentraciones más altas del metal en los suelos. Estas últimas centrales no incluyen tecnologías novedosas para el control de las partículas (Pérez et al., 2019, p. 2-6).

Por último, en la ciudad industrial de Tangshan, China, la cual se caracteriza por contar con industria de acero, carbón, cerámica y electricidad; la contaminación de mercurio total en el polvo fue relativamente baja, no obstante, supera los valores de fondo (4,05 veces), esto pudo ser causado por la acumulación de las emisiones industriales. La investigación además evaluó la contaminación mediante el índice de geo acumulación para el Hg, lo cual indicó contaminación moderada en el sitio (Cui et al., 2020, p. 2-3).

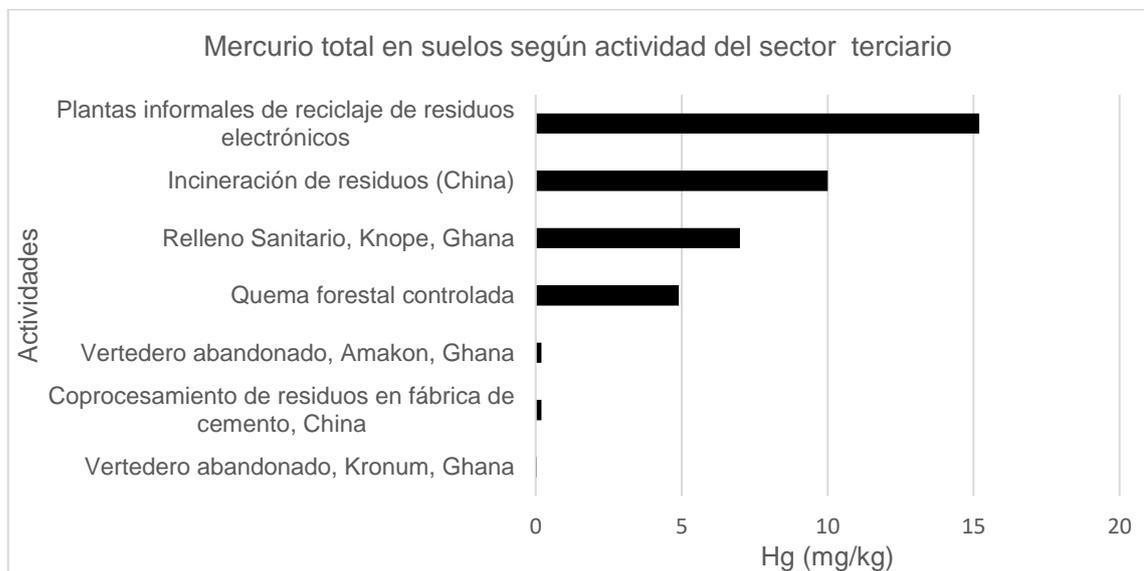


Ilustración 6. Concentraciones totales de mercurio en suelos según actividades del sector terciario. Fuente. Elaboración propia, 2022

Con respecto a la contaminación por parte del sector terciario, como lo indica la ilustración 6, la mayoría de las actividades están dentro de la gestión formal e informal de residuos y la mayoría no sobrepasa los valores de referencia excepto en la planta informal de residuos electrónicos.

Según Nurbaidah y Delgado (2020), estas plantas funcionan de forma ilegal y realizan actividades de quema a cielo abierta y disolución química con el fin de obtener metales de valor. En la Isla de Java, se evaluaron los efectos de la exposición a metales y al mercurio en niños; los infantes del sitio expuesto tenían concentraciones

de metales pesados (plomo, manganeso, mercurio) en el cabello más altas que los niños del sitio de referencia, lo cual indica exposición crónica. Todos los participantes del sitio de referencia fueron capaces de terminar las pruebas relacionadas con la función ejecutiva y la atención más rápido que los participantes que viven en los lugares expuestos, además estas diferencias fueron estadísticamente significativas (p. 2-3).

En cuanto a la concentración total de mercurio en las cenizas volantes de las plantas de incineración de residuos urbanos en la ciudad de Esten, China, los valores oscilaron de 1 a 24 mg/kg. Las cenizas son denominadas material peligroso por estar compuestas de metales pesados y otros compuestos tóxicos; este estudio demostró además que estos valores no son seguros para la población expuesta ocupacionalmente según la guía de evaluación de riesgos de la EPA (Zhou et al., 2015, p.620-621).

El vertedero de Knope se caracteriza por tener varias industrias a sus alrededores reconocidas como las principales fuentes de contaminación ambiental, dentro de las cuales se pueden citar: la planta de generación de energía térmica, la planta de fundición de acero y aluminio, la planta de combustión de petróleo y carbón y las fábricas de procesamiento de cemento y cerámica; a pesar de ello, el valor promedio de Hg en el suelo del vertedero presenta valores relativamente bajos (Obiri-Nyarko et al., 2021, p. 1-6).

En China se ha utilizado la co-incineración de residuos como materia prima alternativa para la generación de energía, a pesar de que esta práctica tiene beneficios como la conservación de energía y reciclado de desechos, sino se gestiona de una forma correcta se pueden generar productos no deseados como los metales pesados, como lo es el Hg que se volatiliza a altas temperaturas.

Según Wang et al. (2018), dada la poca investigación de los efectos atribuidos a la incineración de residuos, se midieron las concentraciones de metales en el suelo circundante (50 a 3000m de distancia) a la fábrica de cemento que utiliza incineración de residuos en su proceso. A pesar de que la concentración de 0,19 mg/kg parece baja, el índice de acumulación antropogénica del mercurio fue el mayor; además, se comprobó que el área muestreada estaba fuertemente contaminada por metal mencionado; el valor de la concentración de Hg en los lodos superó el valor permitido por la ley china en comparación con los hornos que co-procesan carbón, esto sugiere

que la incineración de residuos genera más Hg que la combustión convencional (p.621-622).

Los valores reportados para Amakon y Kronum resultaron bajos, el vertedero de Kronum ha estado abandonado desde hace 15 años; sin embargo, aún se siguen depositando desechos en él, si bien es cierto las concentraciones de mercurio en el suelo de ambos vertederos fueron muy bajas, existe potencial de contaminación por acumulación (Akanchise et al., 2020, p.1-4).

Por otra parte, los incendios forestales también pueden aportar a la emisión de Hg, se realizó una quema prescrita en el área cercana a la mina de Maldon, Australia. El estudio logró comprobar que los valores aumentaron después de realizarse la actividad y después de las lluvias; esto sugiere que los procesos de volatilización y precipitación ayudaron a acumular el metal en los suelos, a pesar de no exceder la normativa para suelos contaminados, se excede el valor de fondo para los suelos en Australia (0,03mg/kg) (p.148).

4.3 Caracterización de la exposición por mercurio

Para caracterizar la exposición a mercurio se presentará información sobre las concentraciones de mercurio en sangre de personas, complementando con información sobre la tasa de contacto, frecuencia de la exposición, duración de la exposición, masa y tiempo promedio, en poblaciones que han interactuado con el metal; por último, se abordara la exposición desde la perspectiva de la educación y el uso o no de equipo de protección personal. Todos los parámetros anteriores son caracterizados en personas que han sido expuestas ocupacionalmente en su mayoría.

Concentraciones de mercurio en sangre de poblaciones humanas

Para caracterizar la exposición a la contaminación ambiental por mercurio se hará uso de la tabla 8, en donde se muestran las concentraciones de mercurio en sangre de diferentes poblaciones expuestas ocupacionalmente y una expuesta ambientalmente.

Esta métrica por lo general se realiza para determinar exposiciones recientes por inhalación, según Fernández (2017a), las concentraciones menores a 30µg/L son consideradas normales, mientras las mayores a 40µg/L son anormales; sin embargo,

no existe una homogenización para este parámetro entre los países. En España para el mercurio inorgánico total se estableció el parámetro de 10 µg/L, y la muestra de sangre se debe de tomar al final de la semana laboral (INSST, 2019, p.136).

Por otra parte, según la Comisión Human-Biomonitoring de la Agencia Ambiental Alemana, los niveles entre 5 y 15 µg/L son niveles de alerta y mayores a 15 µg/L es un nivel alto (Mambrey et al., 2020, p.3).

Tabla 8. Concentraciones de mercurio en sangre de personas expuestas

Población	Concentraciones de mercurio	
	sangre (µg/L)	Autor
Mineros de Sao Chico, Brasil	27,74	Castilhos et al. (2015)
Mineros Creporizinho, Brasil	25,23	
Trabajadores en industria de lámparas fluorescentes, Pakistán	31,87	Nayab et al. (2020)
Lavadoras de oro, ríos Gilgit, Hunza e Indo, Pakistan	54,05	Riaz et al. (2016)
Mineros de Bornuur y Jargalant, Mongolia	0,15-7	Suvd et al. (2015)
Minas de Oro artesanal, Cordoba Colombia	21,97	Calao et al. (2021)
Minas de Oro artesanal, Antioquia, Colombia	10,13	
Minas de Oro artesanal, Cauca, Colombia	1,42	
Minas de Oro artesanal, Guainia, Colombia	13,16	
Minas de Oro artesanal, Putumayu, Colombia	5,94	
Minas de Oro artesanal, Vaupé, Colombia	22,69	
Minas de Oro artesanal, Bolivar, Colombia	2,74	
Minas de Oro artesanal, Caudas, Colombia	1,05	
Minería de oro artesanal, Kadoma, Zimbabue	2,10	Mambrey et al. (2020)
Minería de oro artesanal, Shurugwi, Zimbabue	3,25	
Minería de Oro artesanal, Bibiani, Ghana	18,37	Afrifa et al. (2017)
Trabajadores cloro alcalinos, Polonia	6,06	Kuras et al. (2018)
Distrito minero, Colombia	11,29	Gutiérrez et al. (2018)
Exposición ambiental	2	Akerstrom et al. (2017)

Fuente. Elaboración propia, 2022.

Como es posible observar en la tabla 8, la mayoría de los casos de los artículos encontrados son sobre trabajadores de minería de oro artesanal, y algunos estudios realizados en industrias de lámparas fluorescentes y trabajadores en fábrica de cloro-álcali.

El primer estudio hace referencia al realizado en Sao Chico, Amazonia Brasileña, donde los niveles de Hg para los mineros fueron significativamente mayores que los no mineros. Se determinó que mayoritariamente la exposición se ha dado por medio del vapor de Hg; además la actividad minera en la zona se realiza desde 1963 y según estimaciones se han liberado 5 toneladas de mercurio al ambiente hasta la actualidad (Castilhos et al., 2015, p.11256-11258).

En Creporizinho, los valores observados para mineros y no mineros fueron similares, la población no minera de alguna forma también se encuentra expuesta, en este estudio no se determinaron las razones. Aun así, se midió la concentración de mercurio en pescados consumidos y estos excedieron el límite de 0,5 g/g recomendado por la OMS. Por otra parte, es importante recalcar que el nivel educativo tanto de Sao Chico como de Creporizinho fue extremadamente bajo, menos de 3 años de escuela formal (Castilhos et al., 2015, p.11257).

Con respecto a la asociación entre los efectos del mercurio y la industria de lámparas fluorescentes en Pakistán, se analizaron muestras biológicas en trabajadores de la industria, el mercurio total encontrado en el grupo expuesto (31,87 µg/L) fue mucho mayor que en el grupo control (1,85 µg/L) (Nayab et al., 2020, p.89). Lo cual indica una mayor exposición en el grupo expuesto, además estos trabajadores no utilizaron equipo de protección personal como máscaras o filtros; se encontró que los que habían trabajado en la máquina de escape por 12 y 14 años fueron los que más concentración de Hg reportaron y el perfil médico del grupo expuesto indicó que sufrían de insomnio, pérdida de apetito, dolores de cabeza y corporales con fatiga, además dos trabajadores fueron reportados con problemas de salud mental (p.99).

En Pakistán, según Riaz et al. (2016), el oro se ha encontrado en los sedimentos del río Gigit, los mineros de oro lo extraen por medio de la amalgamación de mercurio, ante esta problemática se analizaron muestras de sangre en la población de 45 mineros incluidos hombres y mujeres. Se encontró que el promedio de concentración de Hg, el rango mínimo y máximo estuvieron por encima del nivel recomendado; y las mujeres reportaron mayores concentraciones, lo cual podría ser de riesgo en condiciones de embarazo. Dentro de los problemas de salud de esta

población se encontraron: los estomacales, dolores en todo el cuerpo, especialmente en el vientre, estómago, cuello, articulaciones y columna vertebral, quemaduras en la piel, problemas renales, trastornos de inhalación, y enfermedades cardíacas; además, cerca de la localidad minera también era comunes los problemas renales por el uso del agua que bajaba de los arroyos (p.26-28).

En Bornuur y Jargalant, provincia de Tuv, Mongolia, se reclutaron 73 adultos involucrados en la minería de oro artesanal; los participantes llenaron un cuestionario de datos de salud y se sometieron a pruebas neuropsicológicas y pruebas en sangre y orina, se dividió al grupo en 3 subgrupos con respecto a los niveles de mercurio en sangre, los de exposición baja $<0,15 \mu\text{g/l}$, media $0,15-7 \mu\text{g/l}$ y alta $>7 \mu\text{g/l}$. Los resultados significativos fueron para los de exposición media ($n=38$), dado que las pruebas médicas indicaron que este poseía síntomas típicos de exposición crónica como problemas de coordinación, ataxia y temblor (Suvd et al., 2015, p.99-102).

Con respecto a los mineros de las 14 minas de oro artesanal en Colombia, agrupadas en 8 estados, los datos significativos fueron los siguientes: del total de 238 mineros, el tiempo promedio de exposición al mercurio fue de 12 años; el 23% del grupo estudiado presentó valores superiores al valor de referencia seguro para la exposición ocupacional ($15 \mu\text{g/l}$, utilizado en este estudio); también se comprobó que los mineros que trabajaron por más de 20 años presentaron niveles de mercurio en sangre 3 veces superiores en comparación con los que trabajaron de 0 a 10 años; también el grupo que realizó labores de quema de amalgama fue el que más concentraciones de Hg en sangre obtuvo, siendo mayoritariamente mujeres las que se dedicaban a esta actividad (Calao et al., 2021, p.5).

En Zimbabue se encontró que los valores promedio de Hg en sangre estuvieron por debajo de los límites de peligro de exposición; a pesar de ello, el nivel máximo encontrado fue de $167 \mu\text{g/l}$, lo cual es un nivel muy alarmante; el 52% de la muestra total incluidos mineros de Kadoma y Shurugwi se encontraban en el umbral de alerta; el 69% de la población no usaba equipo de protección personal para convertir el Hg gaseoso en líquido; el 31,9% usaba la ropa de trabajo en casa y el 33,8% almacenaba Hg en casa. Los elementos mencionados anteriormente son factores de riesgo de exposición, dado que las concentraciones de Hg fueron más altas en este grupo que en los que no almacenaban Hg en sus hogares y no usaban ropa de trabajo en casa (Mambrey et al., 2020, p.3).

En Ghana, Bibiani, la minería de oro artesanal es un sector muy activo y crece constantemente representando algunos problemas como el polvo, ruido, condiciones insalubres; por dichas razones se estudió la población de Bibiani (n=110). Dentro de los resultados se obtuvo que: el 55% de los mineros superaron el umbral de exposición (en este caso de 5 µg/L), los problemas más frecuentes reportados fueron: picazón en los ojos, fatiga y dolor persistente, el 86, 55% de los participantes reportó nunca haber usado equipo de protección personal, el 23% era población sin educación, el 50 % indicó contar con estudios primarios y 26% indicó haber recibido educación secundaria. Se comprobó que los mineros están expuestos a un exceso de mercurio y que esto podría afectar su integridad renal, dado que su tasa de filtración glomerular estimada estuvo reducida. Con respecto a las condiciones asociadas a mayor exposición fueron la quema de amalgama, mayor duración en el trabajo y menor nivel educativo (Afrifa et al., 2017, p.5-8).

Por otra parte, según Kuras et al. (2018) en Polonia, en la fábrica de cloro-álcali los trabajadores también estuvieron expuestos al mercurio según sus niveles en sangre y en orina. La media de las concentraciones de Hg en el grupo expuesto fue 12 veces mayor que el medido en el grupo control (0,52µg/l), esto puede deberse a que en el lugar de trabajo la concentración de mercurio en el aire fue el doble de lo permitido para la exposición ocupacional en Polonia. Este estudio además evaluó que el Hg ambiental puede alterar los perfiles de expresión genética, lo que corresponde a cambios en los niveles de las proteínas y alteración en las actividades enzimáticas (p.43-49).

En cuanto a los impactos adversos del mercurio total en sangre en los residentes del distrito minero de San Juan, Chocó, Colombia, se encontró que los expuestos contenían mayores niveles de Hg en sangre y reportaron problemas de salud como: frecuentes dolores de cabeza, pérdida de la memoria, temblores y calambres; también los elevados niveles de Hg en sangre indicaron exposición crónica entre los mineros (Gutiérrez et al., 2018, p.88).

Por último, es importante recalcar que no solamente la exposición ocupacional es la única que puede provocar efectos en la salud, la exposición ambiental también podría influir en procesos negativos en el organismo. Según Akerstrom et al. (2017), se encontró relación lineal entre las concentraciones de Hg en el riñón, el Hg urinario y en sangre. El estudio fue de biopsias de riñón de 152 donantes vivos y sanos, además determinó que las mujeres tienen un tiempo medio más largo de eliminación del Hg en el riñón, lo cual retiene por más tiempo el metal en el órgano (p.83-85).

Tasa de contacto, frecuencia de la exposición, duración de la exposición, masa y tiempo promedio

Diversos factores como la tasa de contacto con el contaminante, la frecuencia de la exposición, la duración de la exposición, la masa del expuesto y el tiempo promedio, es utilizado para caracterizar la exposición y sus efectos en la salud.

Tabla 9. Tasa de contacto, frecuencia de la exposición, duración de la exposición, masa y tiempo de promedio

Exposición					estudio
Tasa de contacto (L/día, mg/día o m ³ /día)	Frecuencia de exposición (días/año)	Duración de la exposición (años)	Masa (kg)	Tiempo de promedio (días)	
14.000 mg/día	98	21	56,8	-	Zapata et al. (2018)
96,8 a 110,3 ng/m ³	350	30	70	-	Gyanfi, et al. (2020)
400mg/día	350	-	71,6	-	Pavilonis et al. (2020)
-	331	1,5	60,76	-	Wongsasulok, et al. (2021)
50mg/día	330	6,5	70	2145	Ovadje et al. (2021)

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Para el estudio de Zapata et al. (2018), se consideró como población expuesta a mujeres lactantes en la ribera del Río Cauca; este estudio evaluó el riesgo en la salud de madres en periodo de lactancia por consumo de peces contaminados del río, dando como resultado que los valores de riesgo no cancerígeno y la ingesta semanal tolerable fueron superiores a los límites máximos permisibles por la EPA. Es importante recalcar que este río es receptor de las aguas residuales domésticas e

industriales que se encuentran a lo largo de su recorrido; además se ha generado un incremento de la minería artesanal ilegal aledaña al río, lo cual es un factor de riesgo para las poblaciones que consumen alimentos como el pescado desarrollado en el cuerpo de agua (p.8-11).

La exposición a mercurio también se estudió en 316 hogares de comunidad minera de Gbani, Ghana. En esta comunidad las labores de extracción, trituración, concentración y almacenamiento de Hg se hacen en las mismas instalaciones que sirven como dormitorios. Con el fin de cuantificar la exposición se dividieron los hogares entre los que no queman amalgama y los que sí, algunos hogares reportaban mediciones 10 veces más altas que en aquellos que no se realizaba la actividad de quemado, a pesar de que las mediciones se realizaron cuando no se ejecutaba la actividad de combustión; lo que significa que las personas están aún más expuestas, además de que no usaban ningún equipo de protección personal y duraban quemando la amalgama al menos 5 horas al día (Gyanfi et al., 2020, p.2-4, 8).

En los Andes Bolivianos se estudió la exposición y sus efectos en la salud en dos áreas mineras y se determinó que la inhalación de vapor de Hg es la que más contribuye a posibles resultados no cancerosos Pavilonis et al. (2020).

En el estudio realizado en Banmauk, Myanmar se estudiaron a 53 participantes expuestos, y dónde se halló que el proceso de lavado y amalgama son los que tienen mayor potencial para causar riesgo cancerígeno (Wongsasuluk et al., 2021, p.10).

El estudio realizado en la actividad de minería de oro artesanal en Tarkwa, Ghana, se llevó a cabo para verificar si los trabajadores registrados tenían efectos reducidos en comparación con los trabajadores no registrados. Se determinó que las concentraciones en orina de los sitios no registrados fueron casi 3 veces mayores que los registrados; asimismo, en la población general los niveles fueron elevados y la correlación entre los biomarcadores y las pruebas neuropsicológicas no brindaron asociaciones claras entre los mineros registrados y no registrados. Por lo cual, no está claro si la formalización de la minería de oro artesanal pueda mejorar las condiciones de salud en el trabajo, el estudio reveló también que los trabajadores auto informaron padecer de: pérdida del apetito, caída del cabello, salivación excesiva y dos tercios de la población indicó que sus problemas de salud empeoraron una vez empezaron a trabajar en la minería (Ovadje et al., 2021, p.1-3, 6).

Nivel de escolaridad y uso de equipo de protección personal

Otro factor importante para evaluar la exposición a mercurio es el nivel de escolaridad y el uso o no de equipo de protección personal en personas expuestas ocupacionalmente, dado que estos factores pueden influir de forma positiva o negativa.

Tabla 10. Nivel de educación, uso de quipo de protección personal (EPP) y enfermedad o síntoma estudiado

Población	Educación (%)			Uso de EPP (%)		Efecto
	Primaria	Secundaria	Universitaria	Si	No	
Trabajador del reciclaje de desechos electrónicos, n=85	47	53	-	25	73	Alteraciones en el sistema endocrino
MAPE en Kodoma, Zimbabue, n=83	21	57	5	-	-	Problemas cognitivos
MAPE en Tarkwa Nsuaem y Prestea Huni, Ghana, Hombres, n=482	80,4	87,3	68,2	-	-	Problemas de salud ocupacionales
MAPE en Tarkwa Nsuaem y Prestea Huni, Ghana, mujeres, n=106	19,6	12,7	31,8	-	-	
MAPE en Banmauk, Myanmar, n=53	-	-	-	-	79	Riesgo carcinogénico

Fuente. Elaboración propia, 2022.

El primer estudio hace referencia al efecto del mercurio como disruptor endocrino, que podrían afectar la homeostasis de las hormonas tiroideas y reproductivas, desencadenando efectos en la salud. Para ello, se reclutaron trabajadores de seis industrias de reciclaje electrónico y se buscaron asociaciones significativas, pero estas estuvieron ausentes. A pesar de ello algunos datos de interés fueron los siguientes: el nivel promedio de Hg en las muestras biológicas del grupo expuesto fue mayor que el no expuesto; se encontró que algunos expuestos reportaron tener enfermedades de la tiroides, problemas en la glándula pituitaria y enfermedad en las gónadas; que solo el 25 % de la población usaba guantes de nitrilo y el 9% usaba máscaras de protección respiratoria más cartucho de Hg (Gravel et al., 2020, p.1-2, 6-8).

En Kodoma, se interrogaron mineros de oro artesanales con el fin de crear una base de datos auto informados, este estudio mostró que los mineros con menor educación reportaron significativamente más problemas en las actividades diarias, lo cual afecta la dimensión cognitiva; por otra parte, el grupo de mineros con mayor edad reportaron problemas asociados a dolor, malestar, ansiedad y depresión (Becker et al., 2020, p. 5-8).

Según Armah et al. (2016), en los distritos de Tarkwa, Nsuaem y Prestea Huni Valley, suroeste de Ghana, la extracción de oro de forma artesanal es extensa, y se han llegado a otorgar concesiones en áreas de cultivo y asentamiento, lo cual ha generado conflictos locales en la zona.

Debido a esta problemática se estudiaron mineros de la zona, algunos resultados significativos son los siguientes: los mineros sin educación formal contaban con mayores años de experiencia laboral en la minería, porque deben abandonar la educación para dedicarse al trabajo; el 89 % de los mineros tenían niveles de conocimiento muy bajos a bajos; mientras que el 11 % tenían niveles de conocimiento moderados a muy altos sobre los efectos nocivos del Hg para la salud (p.1).

En otro de los estudios realizados en Ghana, las personas que percibían que sus condiciones de trabajo relacionadas con la salud eran excelentes tenían niveles muy bajos de conocimiento sobre los efectos del Hg, esto quizás porque al estar laborando en un ambiente donde no se necesita mayor educación, ignoraban la exposición; por tanto, se detectaron niveles bajos de conocimiento, inclusive un minero murió al tratar de succionar el mercurio a través de una tela, con el fin de eliminar el exceso, después de amalgamar (Aram et al., 2016, p.5-7).

4.4 Riesgo de enfermar por exposición a mercurio y sus compuestos

Los estudios epidemiológicos grandes, en comunidades que son expuestas al mercurio son raros y el impacto de dichas exposiciones aún no se comprende, existe inconsistencia en los resultados, que de cierta forma podría deberse a las diferencias en el diseño de estudio, la precisión de las fuentes o el tamaño de la muestra, por lo cual los artículos utilizados en este apartado siguieron los criterios de calidad GRADE, para estudios observacionales del anexo 7.

Para abordar el riesgo a enfermar que se ha asociado a la susceptibilidad de una población al ser expuesta a mercurio o sus compuestos, se presentarán matrices asociadas con la edad temprana, el embarazo, sintomatología aguda y crónica y enfermedades desarrolladas en diferentes poblaciones.

Efectos del mercurio en el embarazo y en la edad temprana

Los efectos del Hg en poblaciones de mujeres embarazadas y niños se visualizan a través de la tabla 11, en donde se recopiló información del factor de riesgo, el efecto, la razón de probabilidad Odds Ratio (OR) y Riesgo Relativo (RR) con sus intervalos de confianza (IC) al 95% y el autor, se brindan datos del país en donde se realizó el estudio y la cantidad de muestra poblacional utilizada.

Tabla 11. Efectos del mercurio en fetos de mujeres embarazadas y en niños

Factor de riesgo	Efecto	OR o RR (95%IC)	Autor
Mujeres embarazadas, Tanzania, n=961, * p<0,05, ** p < 0,0001.			
Mercurio en sangre	Resultado compuesto adverso en el embarazo, OR	1,27 (1,19-1,35) **	Nyanza et al. (2020)
	Aborto espontáneo, RR	0,96 (0,78-1,18)	
	Muerte fetal, OR	2,71 (2,10-3,45) **	

	Parto prematuro, RR	1,23 (1,08-1,39) *	
	Bajo peso al nacer, RR	1,19 (0,97-1,46)	
	Anomalía congénita, OR	2,50 (1,50-4,17) **	
Mujeres embarazadas, Canadá, n=1835			
Mercurio en sangre	Restricción en el crecimiento para la edad gestacional, RR	1,56 (1,04-2,58)	Thomas et al. (2015)
Mujeres embarazadas de Estados Unidos, n=1442			
Exposición elevada de Hg en el útero	Sobrepeso u Obesidad infantil, RR	1,24 (1,05–1,47)	Wang et al. (2019)
Mujeres embarazadas de Corea, n=458			
Niveles de mercurio al final del embarazo	Comportamiento autista en niños, RR	1,31 (1,08-1,60)	Ryu et al. (2017)
Mujeres embarazadas, Puerto Rico, n=812			
Hg en sangre	Parto prematuro, OR	1,46 (0,97-2,19)	Ashrap et al. (2020)
	Parto espontáneo, OR	2,3 (1,32-4,02)	
Mujeres embarazadas y niños, España, n= 1868 mujeres, n=1347 niños			
Hg posnatal	Tos persistente, OR	1,14 (0,95-1,37)	Carrasco et al. (2021)
Hg en cordón umbilical	Otitis, OR	1,23 (1,02-1,48)	

Fuente. Elaboración propia, 2022.

De la tabla 11 algunos datos descriptivos que se pueden mencionar son que los estudios tienen tamaños muestrales relativamente grandes, por lo cual las probabilidades de padecer algún efecto adverso en el embarazo o la primera infancia,

por causa del mercurio, es fiable. La mayoría de ellas se encuentra cercano al 1, por lo cual la relación es pequeña, aun así, existe esa pequeña posibilidad del padecimiento, lo cual es un riesgo para la salud de las mujeres y de los niños en camino; el riesgo más alto encontrado fue para la muerte fetal y las anomalías congénitas.

El factor de riesgo está representado por niveles de Hg en sangre, útero, cabello y cordón umbilical, y dentro de los efectos encontrados está el aborto espontáneo, parto prematuro, muerte fetal, anomalías congénitas, bajo peso al nacer, restricción en el crecimiento, sobrepeso u obesidad, comportamiento autista, tos persistente, otitis, asma y diabetes.

Para tener una visión esquemática de los efectos del mercurio mencionados anteriormente se presenta gráfico forest plot, que visualiza las OR, RR y sus intervalos de confianza.

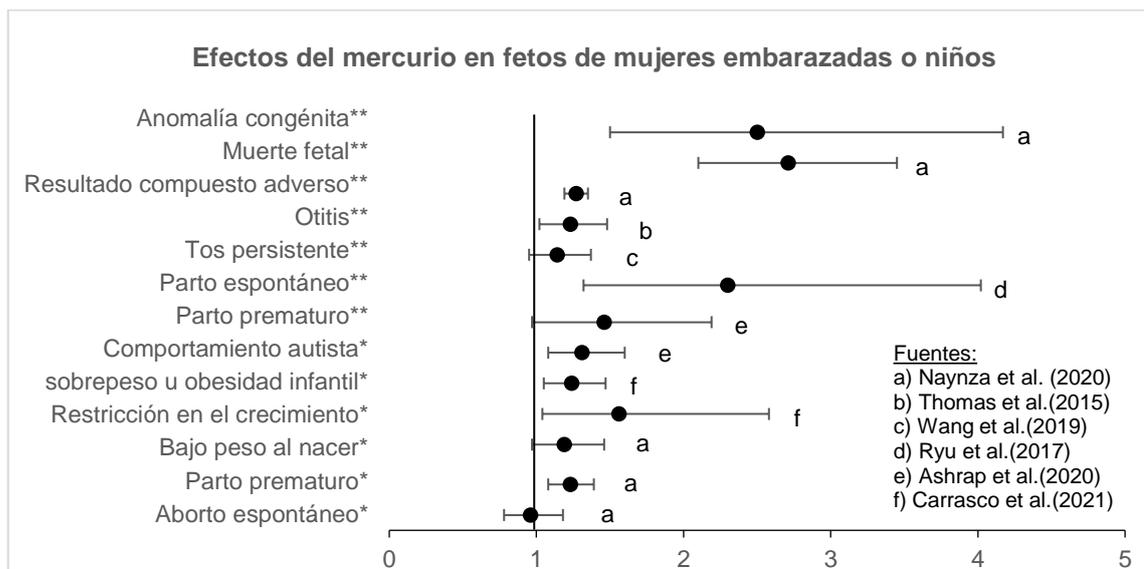


Ilustración 7. Gráfico de bosque del efecto de la exposición a mercurio en fetos y niños, en donde *=RR y **=OR. Fuente, Elaboración propia, 2022.

Como es posible observar en la ilustración 7, el riesgo relativo es diferente para cada estudio y los intervalos de confianza varían; en todos los estudios el riesgo de padecer efectos adversos en el embarazo o enfermedades en niños es positivo. Lo que indica que en comparación con los controles de cada estudio la probabilidad de sufrir un efecto negativo al encontrarse expuesto a mercurio es mayor, o aumenta con

las concentraciones de Hg en la sangre de la madre, lo cual es explicado por la movilidad del mercurio a través de la placenta, y la susceptibilidad del organismo en desarrollo (Thomas et al., 2015, p.1).

En Asturias, Gipuzkoa, Sabadell y Valencia se realizó una cohorte de nacimiento para evaluar la asociación entre la exposición pre y postnatal a Hg con problemas respiratorios y alergias en niños de 4 años, mediante muestras de sangre del cordón umbilical y cabello. A pesar de que los niños presentaban prevalencias importantes en problemas respiratorios no se encontró asociación estadísticamente significativa para el mercurio, pero si se encontraron algunas asociaciones débiles: la menor ingesta de frutas y verduras aumento el riesgo de otitis debido a la exposición prenatal al mercurio, se encontró una asociación débil entre la exposición posnatal y la tos persistente en niños. Cabe recalcar que en este estudio las madres presentaban características sociales buenas y algún nivel de educación (Carrasco et al., 2021, p.1-3, 6-8).

El mercurio en sangre se asoció positivamente con un aumento de 2,3 y 1,5 veces más probabilidades de parto espontáneo y prematuro en mujeres de Puerto Rico. Es importante recalcar que en este país existe una alta tasa de incidencia de partos adversos, y además se ha extendido la contaminación por desechos peligrosos en la isla. Por su parte, el mecanismo de acción sugerido del metal podría ser la inducción del estrés oxidativo, lo cual podría dañar lípidos, proteínas y el ADN en el tejido de la placenta; asimismo, los metales pueden influir en los niveles de las hormonas reproductivas a través de su síntesis, regulación, transporte, metabolismo e inferencia con receptores (Ashrap et al., 2020, p.1-5).

Los niveles de mercurio total en la sangre al final del embarazo, en el cordón umbilical y en la sangre de los niños en la primera infancia (2 y 3 años), están asociados con comportamientos autistas en los mismos niños a los 5 años, según la cohorte prospectiva realizadas en la República de Corea (Ryu et al., 2017); los mecanismos exactos entre el Hg y el síndrome del espectro autista no están definidos en este estudio, pero se sugiere que podría estar involucrada la capacidad del metal para funcionar como disruptor endocrino, además de la inferencia del inmaduro desarrollo inmunitario y de varios sistemas del feto (p.255-256).

En Estados Unidos se siguió una cohorte de nacimiento hasta los 15 años, donde se determinó la asociación positiva entre los niveles maternos de Hg en sangre con la obesidad y sobrepeso infantil. El cuartil más alto de exposición a mercurio (3,70-

27,8µg/L), se asoció con un aumento de 1,24 veces más probabilidades que aquellos en el cuartil más bajo (0,39-1,04 µg/L), de igual forma que los estudios anteriores, aún no está claro el mecanismo para dicha asociación y se suscita al estrés oxidativo y a la inflamación inducidos por el MeHg, los potenciales mecanismos de acción (Wang, G., et al., 2019, p.1-4).

Por otra parte, según Thomas et al. (2015), la restricción en el crecimiento intrauterino en la edad gestacional es un predictor para la mortalidad y morbilidad en la infancia, los nacidos tienen más complicaciones en el parto y corren riesgo a aumento de peso excesivo, enfermedades cardiovasculares y síndrome de resistencia a insulina.

Los metales pueden inducir el bajo crecimiento mediante el estrés oxidativo, que daña macromoléculas, y el endotelio vascular, contrayendo el músculo liso que rodea los vasos sanguíneos y aumentado la presión arterial materna, lo anterior reduce el flujo normal de sangre al feto. En Canadá se reveló que el mayor riesgo de restricción del crecimiento intrauterino para la edad gestacional fue para el tercil más alto de exposición a mercurio (concentraciones de Hg mayores a 1,6 µg/L) (Thomas et al., 2015, p.431).

Es importante recalcar que a pesar de que la población anteriormente mencionada era de mujeres mayores, educadas, con ingresos familiares altos y menos tendencia al fumado que la población canadiense en general, se encontró esta asociación, lo cual indica que la exposición está presente sin ser necesariamente parte de una comunidad expuesta a mercurio (p.431-432, 436).

Por último, en Tanzania, se realizó un estudio de cohorte transversal donde se observó el desarrollo de nacimientos adversos en mujeres expuestas a MAPE y no expuestas; se obtuvo que por cada aumento de 10 veces la concentración de mercurio total en sangre, el riesgo relativo de aborto espontáneo aumentó en 0,96; las probabilidades de muerte fetal aumentaron en 2,71 veces; las probabilidades de alguna anomalía congénita visible aumento en 2,5; para el parto prematuro y el bajo peso al nacer las asociaciones fueron más bajas. No obstante, las probabilidades aumentaron en 1,23 y 1,19 respectivamente (Nyanza et al., 2020, p.7).

Este estudio también reveló que más de la mitad (54,4%) de las mujeres de las áreas MAPE sufrieron de resultados adversos en el embarazo, el riesgo del resultado se asoció a una mayor exposición prenatal a mercurio. Al igual que en los estudios

anteriores podría deberse a que el mercurio genera estrés oxidativo y puede inducir al daño endotelial y afectar la vascularización de la placenta (Nyanza et al., 2020, p.2-9).

Sintomatología aguda y crónica por exposición a mercurio

Por otra parte, se presentará la sintomatología presentada en diferentes poblaciones, ya sean expuestos ocupacionalmente o intoxicaciones reportadas en población en general debido a accidentes.

Tabla 12. Sintomatología asociada a la exposición aguda y crónica

Sintomatología o enfermedad	Casos	Autor
Intoxicación aguda		
Fiebre, taquicardia, erupción cutánea, mialgias, dolor de cabeza, dolor en la garganta, temblor de manos, entumecimiento de piernas, dificultad para caminar	3 adolescentes	Atti et al. (2019)
Síndrome nefrótico	1 adolescente	Onwuzuligbo et al. (2018)
Cansancio, mareos, debilidad, malestar generalizado, pérdida de peso, mialgias, taquicardia persistente con hipertensión	1 niño	Czolgosz et al. (2015)
Fiebre, erupción cutánea, tos seca, malestar general, dolor de garganta y dolor de cabeza generalizado.	3 niños	Young et al. (2020).
Hipertensión, erupción cutánea y convulsiones	1 niña	Jin et al. (2019)
Intoxicación crónica		
Mortalidad prematura	3603 adultos,	Philibert et al. (2020)
Hipertensión	1 adulto	Jin Yan et al. (2019)
Enfermedad de la neurona motora	1 adulto	Magnavita et al. (2020)

Fuente. Elaboración propia, 2022.

La tabla 12 muestra que los casos de intoxicación aguda son encontrados en niños, los cuales manipularon el mercurio con el fin de jugar con el metal, generando condiciones peligrosas para la salud.

Es importante mencionar que, en comparación con los adultos, los niños tienen un volumen de ventilación por minuto más alto y son más bajos, lo que los hace susceptibles a las moléculas más pesadas que el aire. El vapor de mercurio es la vía más importante de exposición al metal, una vez en el sistema este se distribuye en los tejidos, especialmente en el SNC y los riñones, se recicla en el sistema y provoca una disfunción generalizada en la fisiología normal de la célula (Atti et al., 2019, p.3).

Como, por ejemplo, el primer caso de 3 niños (11, 13 y 15 años), los cuales jugaron con mercurio líquido, lo derramaron y aspiraron en su habitación, ellos presentaron síntomas como: fiebres de hasta 39 °C, taquicardias de 125 latidos por minuto, exantema difuso no pruriginosos, eritematoso, maculopapular y blanqueado (o mejor dicho manchas en la piel). Después de una semana de la exposición seguían quejándose de dolores y uno de ellos mantuvo los síntomas por tres semanas en donde también presentó visión borrosa (Atti et al., 2019, p.2).

De acuerdo con Young et al. (2020), otro caso similar ocurrió en 3 niños de 14, 11 y 9 años, ellos habían encontrado un frasco de Hg al 99% en la calle y jugaron con el mismo, colocándolo en sus manos, vertieron el mercurio en otros frascos sin tapa y lo almacenaron en la cocina y en el dormitorio, calentaron el metal con fuego y lo llevaron a la escuela (p.471).

Los tres niños anteriores presentaron temperaturas elevadas, llegando a 41,8°C, permanecieron taquicárdicos, presentaron erupciones cutáneas, todos presentaron anomalías leves en las pruebas de función hepática y poseían trombocitopenia. (p.471)

De la misma forma una niña de 10 años fue ingresada al centro hospitalario con un historial de 3 meses de hipertensión, erupción cutánea, convulsiones, visión borrosa, pérdida de la conciencia. Cuando los médicos detectaron niveles de Hg muy superiores a los de referencia en la orina, supieron que en la escuela estuvo jugando con perlas de mercurio (Jin et al., 2019, p.1476).

Otro caso fue el de la intoxicación de un joven de 17 años que había producido un derrame de azogue (mercurio) en su habitación, y de igual forma para limpiarlo lo

aspiró con la aspiradora familiar lo que provocó que el metal se aerolizara y provocara mayor exposición (Czolgosz et al., 2015, p.125-126).

Otro punto importante de mencionar es que en todos los casos mencionados anteriormente ni los familiares ni los niños reportaron el uso de mercurio hasta que se hizo una investigación exhaustiva, días posteriores del primer internamiento, quizás por ignorancia sobre los efectos del metal, lo cual generó que los médicos trataran la intoxicación de forma no eficaz en el momento.

Con respecto a la intoxicación crónica, esta es más común en pacientes adultos, según Jin et al. (2019), un paciente de 42 años se había presentado varias veces al centro clínico con la presión alta, es importante recalcar que estuvo trabajando durante 20 años en una fábrica personal, donde extraía oro del polvo mineral usando Hg. El paciente 4 años después de su inicio en la fábrica desarrolló mareos frecuentes y epistaxis ocasional (p.1475).

Un caso parecido fue el de un paciente el cual trabajó en una fábrica de cloro alcali, y desarrolló enfermedad de la neurona motora, el paciente fue ingresado con intoxicación aguda al hospital, dos años después de iniciar con el empleo y a lo largo de los años, no obstante, el paciente siguió trabajando en la misma actividad hasta desarrollar la mutación debido a la exposición (Magnavita et al., 2020, p.1-2).

La comunidad de Grassy Narrows First Nation, Canadá, vivió con las consecuencias del derrame de 10000kg de mercurio en su ecosistema acuático en 1960, por lo cual se analizaron muestras biológicas con concentraciones de mercurio de personas que murieron antes y después de los 60 años, se tomaron al menos cuatro medidas de Hg. El estudio indicó que hubo un mayor riesgo a morir a una edad más temprana entre aquellos que contenían 15 µg/g o más en el cabello, la longevidad disminuyó en 1 año con cada aumento de 6,25 µg/g en la concentración de Hg en el cabello (Philibert et al., 2020, p.142).

Enfermedades asociadas con exposición a mercurio, según sistema afectado

Con el fin de determinar el riesgo a enfermar por mercurio, se presentan los artículos sobre efecto y riesgo a enfermar sistematizados en la tabla 13, la cual consta del sistema afectado, factor de riesgo, efecto o enfermedad, OR y autor.

Tabla 13. Enfermedades desarrolladas en personas por la exposición a mercurio según el sistema afectado

Sistema afectado	Factor de riesgo	Efecto	OR (95%IC)	Autor
Respiratorio	Niveles séricos de Hg, OR	Asma	1,01 (0,98-1,03)	Koh et al. (2019)
		Rinitis	0,99 (0,98-1,01)	
		Dermatitis atópica	1,02 (0,98-1,05)	
Cardiovascular	Hg en sangre, OR	Hipercolesteremia	3,72 (1,03-13,4)	Cho et al. (2020)
	MeHg en sangre, OR	Diabetes	0,82 (0,99-1,0)	Zhang et al. (2021)
	MeHg en sangre, OR	Alteración de la glucemia	1,03 (1,02-1,05)	Jeppesen et al. (2015)
	Diabetes tipo 2	1,02 (1,01-1,04)		
Reproductor	Hg total en sangre, OR	Infertilidad	2,57 (1,12-5,87)	Zhu et al. (2020)
Nervioso	MeHg en placenta, OR	Defectos en el tubo neural	1,76 (1,13-2,76)	Jin et al. (2016)
	Hg total en placenta, OR	Defectos en el tubo neural	2,85 (1,17-6,94)	Tong et al (2021)
	Hg total en orina, OR	Autismo	2,9 (1,39-6,07)	Nabgha-e-Amen et al. (2020)
	Etilmercurio en sangre, OR	Deterioro cognitivo	6,4 (0,66-38,7)	Geier et al. (2019)

Fuente. Elaboración propia, 2022.

De la tabla 13, es posible observar que las razones de probabilidades (OR) para el asma, la rinitis, la dermatitis atópica, alteración de la glucemia y diabetes es muy pequeña, lo cual quiere decir que existe muy poca relación entre los niveles de

Hg y MeHg en sangre. Es importante recalcar que todas las razones son ajustadas a covariables y factores de confusión, por lo cual, el efecto del mercurio por sí solo se pudo haber visto opacado; no obstante, es más realístico analizar varios factores o covariables que podrían interactuar con el desarrollo de la enfermedad.

Caso contrario ocurrió con el efecto del mercurio, metilmercurio y etilmercurio en el desarrollo de la infertilidad, defectos en el tubo neural, autismo, siendo el caso más relevante el deterioro cognitivo en adultos mayores.

Para tener un panorama ilustrativo de los efectos se presenta el siguiente gráfico de bosque, el cual representa las OR de las diferentes enfermedades recuperadas con sus intervalos de confianza al 95%.

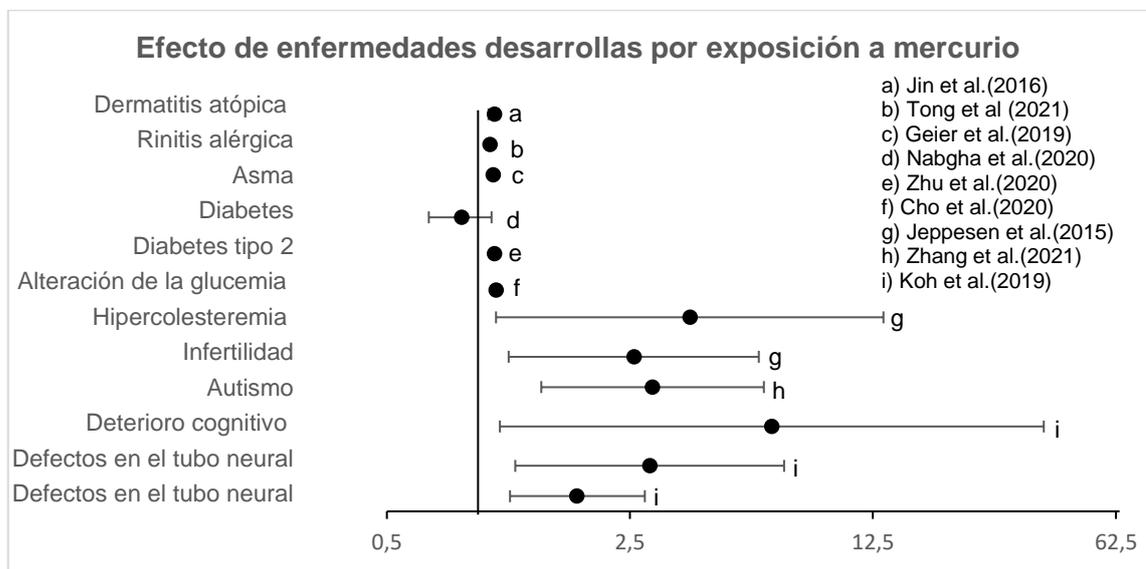


Ilustración 8. Gráfico de bosque del efecto de la exposición a mercurio en fetos y niños. Fuente, Elaboración propia, 2022.

La ilustración 8 expone el efecto (Odds Ratio) de diferentes estudios en donde se han asociado las concentraciones de mercurio en sangre y cabello con efectos o enfermedades. Como es posible observar en la ilustración 6, todas las asociaciones son positivas; no obstante, para la dermatitis atópica, la rinitis alérgica y el asma, la asociación con los niveles séricos del metal resultó ser muy débil (Koh et al., 2019), esto podría deberse a que los datos utilizados procedieron de la encuesta Nacional de

examen de salud y Nutrición de Corea; por lo cual, en general la población civil solo se expone a concentraciones ambientales o valores de fondo del metal (p.1-6)

De igual forma, la asociación entre los niveles de metilmercurio en sangre con la diabetes y los niveles de glucosa en ayunas fue muy débil (Zhang et al., 2021, p.1 Jeppesen et al., 2015, p.192); a pesar de contar con un tamaño muestral grande proveniente de los datos de la Encuesta Nacional NHANES de Estados Unidos, y del estudio transversal de salud en transición de 2640 adultos inuit.

No obstante, otros estudios sí han relacionado los niveles de mercurio en sangre con enfermedades cardiovasculares (Park et al., 2017, p.116-117), asoció la adiposidad visceral en adultos con el Hg; (Sedigheh et al., 2017, p.540), sugirió que el nivel sérico de metales como el plomo, cadmio y mercurio están asociados con el riesgo de enfermedad de las arterias coronarias (CAD), al comparar casos y controles en una población de 65 pacientes entre 50-70 años con CAD, detectando que la concentración media de los metales citados anteriormente son significativamente mayores en la población con CAD que en la población sana o control.

Además, según Akkaya et al. (2019), la exposición a iones mercúricos mejoran la adhesión de los glóbulos rojos a la laminina, que puede contribuir a enfermedades cardiovasculares y trombosis. Por otra parte, Mikalsen et al. (2019), comprobó que los niveles medios de Hg totales en sangre en pacientes con hipertensión eran significativamente más altos en comparación con pacientes con presión arterial normal (p.150); y Liu et al. (2021), encontró que niveles más altos de mercurio y plomo, en la sangre de niños varones, son asociados con frecuencias cardíacas bajas durante el reposo; además, es predictor biológico de mayor riesgo a enfermedades cardiovasculares, mala regulación emocional, comportamiento antisocial y agresivo infantil (p.1-2); y el estudio de Chen et al. (2019), atribuyó al mercurio 7360 muertes por ataques cardíacos fatales en el 2010 en China (p.1).

Continuando con la ilustración 8, en adolescentes coreanos, el cuartil con mayores concentraciones de Hg en sangre aumentó 3,72 veces la probabilidad de padecer hipercolesteremia o el colesterol de baja densidad o “malo”, con el cuartil más bajo (LDL) (Cho et al., 2020, p.1-6), lo cual sugiere un efecto negativo del mercurio sobre los lípidos.

Con respecto a las enfermedades del sistema reproductor, en la Ilustración 8, el mercurio total en sangre se asoció con la infertilidad femenina cuando las concentraciones eran mayores a 5,287 µg/L (Zhu et al., 2020). Por lo cual las mujeres

deberían de considerar la exposición a metales cuando se preparen para el embarazo (p.53-58).

También se ha encontrado conexión con otras enfermedades del sistema reproductor (Zhou et al., 2016, p.68., Lu et al., 2018, p.1 y Chen et al., 2019, p.1), respectivamente con tendencias crecientes en la longitud de la cola del espermatozoide, lo cual sugirió que la exposición ambiental al Hg puede generar daños al ADN de los espermatozoides y la desmetilación del gen de impronta H19, el cual juega un papel significativo en el desarrollo embrionario temprano y su crecimiento. Si este proceso de metilación es alterado, se pueden producir trastornos congénitos del crecimiento como el síndrome de Silver-Russel, caracterizado por retraso en el crecimiento intrauterino y posnatal entre otras manifestaciones clínicas, también es asociado con la reducción de la circunferencia de la cabeza en recién nacidos y la disminución de 0,14 puntos del coeficiente intelectual por feto.

Con respecto a las enfermedades del sistema nervioso, según la ilustración 8, estas son las que presentan efectos más visibles mediante la Odds Ratio, sobresaliendo el deterioro cognitivo en adultos (Geier et al., 2019). Esto podría deberse a que los adultos mayores acumulan más cantidad de Hg en su organismo con la edad, por lo cual esta población es especialmente susceptible (p.901-902). La enfermedad del Alzheimer también se ha relacionado con el Hg²⁺, dado que el ión facilita la segregación del péptido Aβ42, formado fibrillas que se precipitan fuera de la membrana molecular en dicho padecimiento (Meleleo et al. 2020, p.2).

También se ha relacionado el Hg con casos de anencefalia y espina bífida midiendo la concentración de metilmercurio en la placenta, en efecto los niveles altos de MeHg y mercurio total en la placenta están asociados con los defectos en el tubo neural (Jin et al., 2016, p.131, Tong et al., 2021, p.1).

Por último, el trastorno del espectro autista (TEA), se ha relacionado con niveles urinarios mayores de Hg en niños paquistaníes expuestos que en los controles (Nabgha-e-Amen et al., 2020, p.1-9); el Hg induce al estrés oxidativo, causando apoptosis en las células, lo cual es un factor de riesgo para el TEA. La exposición principal en el estudio fueron los alimentos, el agua y el polvo que contenían niveles contaminantes del metal. Otro caso asociado a la exposición de mercurio y enfermedad del sistema nervioso fue la asociación entre las concentraciones de Hg en el cabello y la disminución en la integración visual motora y la capacidad cognitiva de 164 niños que viven cerca de minas de oro artesanales (Reuben et al. 2020, p.8).

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

Este apartado contiene las principales conclusiones y recomendaciones de la presente investigación, estas provienen del proceso de selección de los artículos, es de decir de la metodología, de la descripción de los contextos de la contaminación ambiental según concentraciones de Hg por sector y medio contaminado y de la caracterización de la exposición a mercurio y del riesgo a enfermar por el metal.

5.1 Conclusiones

Con respecto al proceso metodológico, esta revisión sistemática de forma exploratoria es de suma importancia para sintetizar información sobre la contaminación, la exposición y el riesgo a enfermar por mercurio en diferentes estudios alrededor del mundo, al usar bases de datos de la universidad, el proceso se volvió más confiable en cuanto a la validez de los artículos.

Existen herramientas para validar la precisión de los artículos como lo son la evaluación PRISMA y GRADE, no obstante, estas son utilizadas para la validación de pruebas diagnósticas en estudios clínicos o enfocados a un solo efecto, por lo cual se tuvo que adaptar la GRADE del centro Cochrane, que fue la más cercana al diseño de estudios observacionales transversales utilizadas en esta investigación; un factor limitante al usar este tipo de estudios es que requieren de un tamaño muestral grande, y no todas las investigaciones cuentan con los recursos suficientes para realizarlos, por lo cual la selección de artículos se vio limitada a este factor.

Otro factor limitante fue la gran cantidad de artículos para analizar cada objetivo de la investigación y la heterogeneidad en los mismos. Esto dificultó el uso de las metodologías convencionales en la revisión sistemática. Cabe resaltar que cada objetivo estuvo relacionado con el siguiente, pero el diseño de cada artículo era complejo de homogeneizar para todo el estudio.

En cuanto a la contaminación ambiental por mercurio, en el sector primario fue donde se identificaron más estudios y la principal actividad emisora de Hg fue la minería de

oro artesanal, lo cual está muy de acuerdo con el Inventario Mundial de Emisiones de Mercurio, el cual posiciona la minería de oro artesanal como la actividad que más contribuye a las emisiones de mercurio a nivel mundial. El suelo fue el medio contaminado más estudiado en los artículos, a diferencia del agua y del aire.

Además, la mayoría de los análisis sobrepasaron los valores de referencia de la EPA para suelos y la normativa nacional para suelos industriales y residenciales, las concentraciones medias de mercurio en el suelo que más llamaron la atención, por sobrepasar los límites de la US EPA para suelos y la normativa nacional de intervención y prevención, fueron en la actividad MAPE Pinal de Amoles, México (2385,5mg/kg); minería de oro en Idrija, Eslovenia (972mg/kg); extracción de cinabrio, República Checa (69,52mg/kg); MAPE Yani, Bolivia (120mg/kg); MAPE El Dorado, Bolivia (1440 mg/kg) y actividad agrícola de arroz, Washan, China (36,8 mg/kg).

El valor de mercurio elemental en el aire que sobrepasó la normativa para espacios ocupacionales de la ACGIH fue en Pinal de Amoles, México (275000ng/m³). Algo similar ocurrió con las mediciones del metal en el agua; no obstante, no en todos los puntos de muestreo los valores fueron superiores a los aceptados por la EPA y la normativa costarricense. Sin embargo, en algunos puntos las mediciones fueron alarmantes. Por esto se concluye a que las poblaciones en los estudios recopilados están bastante expuestas al metal por los tres medios de contaminación estudiados.

Con respecto a la contaminación en el sector secundario las actividades encontradas fueron variadas, incluyendo: fábricas de cloro álcali, plantas siderúrgicas, industria de cemento, ciudades industriales y centrales eléctricas de carbón. Las concentraciones del metal en el suelo fueron las predominantes, y en algunos casos muy altos; no obstante, más de la mitad de los artículos encontrados mostraron medias de concentraciones por debajo de los niveles de referencia. Se podría concluir que las fábricas al contar con un proceso más sofisticado apuestan a tecnologías más limpias a la hora de emitir desechos particulados al ambiente; pero cabe recalcar que en contraste menos de la mitad de los estudios presentaron cifras de concentraciones altas, lo cual es preocupante, además, a pesar de que algunas concentraciones son bajas, estas se pueden ir bioacumulando en las especies y generar impactos negativos.

Las actividades del sector terciario estuvieron representadas por: la incineración de residuos, rellenos sanitarios, vertederos abandonados y coprocesamiento de residuos y plantas informales de desechos electrónicos; en este

caso los reportes para el medio contaminado fueron los suelos, las concentraciones no sobrepasaron los niveles de referencia, pero las concentraciones podrían ser problemas del futuro por la acumulación del metal.

La caracterización de la exposición a Hg estuvo representada por población ocupacionalmente expuesta, con valores que sobrepasaron los niveles de referencia en sangre, a pesar de que no existe una homogenización para definir parámetros normales y anormales de mercurio en sangre, algunos de los valores significativos fueron en las lavadoras de oro, ríos Gilgit, Hunza e Indo, Pakistán (54,05µg/L), mineros de Sao Chico (27,64µg/L) y Creporzinho, Brasil (25,23µg/L), trabajadores en industria de lámparas fluorescentes, Pakistán (31,87µg/L); MAPE Córdoba (21,97µg/L), Antioquia (10,13µg/L), Guainia (13,16µg/L) y Vaupé, Colombia (22,69µg/L) y MAPE Bibiani, Ghana (18,37µg/L). La mayoría de los artículos presentaron datos de mineros de oro artesanal y otros estudios de trabajadores cloro-alcalinos y de lámparas fluorescentes. En estos estudios los participantes en general informan sobre problemas cognitivos, malestares como dolor de cabeza, fatiga, temblores, quemaduras en la piel, dolores en las articulaciones, problemas renales, trastornos de inhalación, entre otros.

La caracterización de las poblaciones expuestas mediante la tasa de contacto por día, la frecuencia de exposición en días, años, reveló que, en los diferentes estudios de minería de oro artesanal, las dosis a las cuales se exponían los sujetos podrían elevar el riesgo cancerígeno y no carcinogénico; además de que muchos de ellos comunicaron que su salud se vio deteriorada después de empezar a trabajar en la actividad. Las poblaciones expuestas al metal por lo general reportaron tener un nivel de educación bajo y la mayoría de los trabajadores no utilizaron equipo de protección personal.

Es posible observar que el riesgo a enfermar por mercurio en mujeres embarazadas y niños se evidencia en estudios por medio de la OR y RR, los valores significativos estadísticamente hablando fueron para la muerte fetal, la anomalía congénita, parto espontáneo y restricción en el crecimiento, los cuales tuvieron mayor relación con el mercurio en sangre de mujeres embarazadas, [OR=2,71 (95%IC: 2,10-3,45)]; [OR=2,50 (95%IC: 1,50-4,17)]; [RR= 2,3 (95%IC: 1,32-4,02)] y [OR=1,56 (95%IC: 1,04-2,58)] respectivamente. No obstante, se encontraron asociaciones bajas del mercurio con otras enfermedades como la otitis, tos persistente, parto prematuro, comportamiento autista, sobrepeso u obesidad infantil, bajo peso al nacer y aborto espontáneo, estas no dejan de ser de interés, puesto que el mercurio podría

acumularse con el paso de los años y provocar efectos adversos. Lo cual indica que no solamente el embarazo es una ventana de tiempo susceptible a efectos adversos, sino también, la edad temprana.

La sintomatología aguda y crónica por exposición a Hg se diferenciaron claramente en los artículos consultados, la aguda es caracterizada por fiebre, taquicardia, erupción cutánea, malestares como dolor de cabeza, temblor en manos, entumecimiento de las extremidades, síndrome nefrótico, dolor de garganta, hipertensión y convulsiones, en los casos de intoxicaciones agudas es importante recalcar que para este estudio, la población más susceptible reportada son niños que por accidente juegan con el llamativo metal sin saber de sus efectos; a diferencia de las intoxicaciones crónicas que fueron reportadas en población adulta, lo es cual es lógico dada la exposición en el tiempo de estas personas, los síntomas son asociados a enfermedades motoras, mortalidad prematura e hipertensión.

Los padecimientos asociados con concentraciones de mercurio en sangre, en personas expuestas ocupacionalmente fueron el deterioro cognitivo, la hipercolesterolemia, infertilidad, autismo y defectos en el tubo neural; [OR=6,4 (95%IC: 0,66-38,7)]; [OR=3,72 (95%IC:1,03-13,4)]; [OR=2,57 (95%IC:1,12-5,87)]; [OR=2,9 (95%IC:1,39-6,07)] y [OR=2,85 (95%IC:1,17-6,94)] respectivamente. A diferencia de las enfermedades respiratorias como el asma, la rinitis, dermatitis atópica y diabetes; a pesar de ello, el efecto aún es algo que no se encuentra del todo claro, y existe contradicción en estudios que si encuentran asociaciones significativas y en otras que no las hay.

Para la carrera de Salud Ambiental, esta investigación contribuye con el aporte de la información para ir creando estrategias en la mitigación de la contaminación por mercurio, además brinda la visión en ambos enfoques; es decir, salud y ambiente, puesto que se expone la contaminación en el medio físico y también se describe el efecto en la salud de las personas. Ambas direcciones convergen con el fin de entender la interacción del contaminante con el ambiente y la salud.

Por último y el resultado más relevante de esta revisión es que utiliza un método original, en su intento de condensar en una investigación tan amplia de datos de contaminación, exposición y riesgo a enfermar. No se limita únicamente a la explicación de un solo fenómeno, como se realiza convencionalmente en la revisión sistemática, sino que experimenta con la explicación multicausal del riesgo a enfermar, rectificando el hecho de que no solamente una condición es suficiente para causar

deterioro en la salud; comprobando que hay múltiples factores que interactúan para poder explicar el mecanismo en que se puede desarrollar una enfermedad.

Si bien es cierto que por su complejidad no se puede explicar dicho mecanismo para el riesgo a enfermar por mercurio, esta investigación hace un primer acercamiento en el tema. Y además brinda diversas bases sobre las cuales se pueden empezar futuras investigaciones de campo.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere a los profesionales en salud ambiental y carreras afín, que desarrollen estrategias de intervención orientadas a la promoción de ambientes libres de mercurio, especialmente en comunidades que desarrollan la minería de oro artesanal en el país. Buscar alternativas más limpias y seguras para la extracción del metal, porque a pesar de que la mayoría de los estudios de este trabajo son realizados a poblaciones MAPE, las personas se siguen exponiendo por falta de oportunidades y conocimientos en el tema, por lo cual se recomienda adoptar medidas de educación.

Para lo anterior se recomienda a la academia realizar más estudios sobre la cuantificación de la contaminación en suelos, agua y aire; con el fin de contar con un diagnóstico actualizado de la situación país, y a partir de ahí, desarrollar legislación para proteger los recursos naturales de la contaminación por mercurio basados en evidencia científica, no únicamente tomar en cuenta la legislación para remediación ambiental de suelos ya contaminados, sino, también trabajar desde la normativa de prevención.

Realizar estudios sobre los impactos de las concentraciones bajas de mercurio en el ambiente, y no solamente de las altas o las cuales sobrepasan los niveles de referencia, puesto que el mercurio puede bioacumularse en los organismos vivos, provocando repercusiones que aún no se han estudiado a profundidad.

Así como también, caracterizar la exposición por medio de indicadores biológicos como lo es la sangre, la orina o el cabello de personas expuestas al mercurio, esto con el fin de conocer los niveles de exposición. Considerando que la epidemiología podría orientar el accionar de estrategias para reducir los factores de riesgo, mediante la vigilancia epidemiológica. Aunado a lo anterior también se recomienda la realización de estudios prospectivos o cohortes seguidas en el tiempo

para adaptarse a la investigación causal, y proponer alternativas libres de mercurio más apegadas a las diferentes realidades de los mineros.

Se recomienda también realizar estudios en cuanto a los efectos del mercurio en mujeres embarazadas y niños como se ha realizado alrededor del mundo, mediante cohortes, seguidos en el tiempo con el fin de tener datos actuales sobre enfermedades que podrían afectar a los fetos y a los niños en edad temprana (trastorno del espectro autista, la hiperactividad, déficit en la atención y problemas en el desarrollo), puesto que el embarazo y la edad temprana son factores de susceptibilidad para desarrollar enfermedades por exposición al metal. Por lo que se sugiere publicar esta información en revistas y que puedan ser de conocimiento para la academia y el público en general.

Por otra parte, la mayoría de los artículos recopilados tratan sobre enfermedades neurológicas y problemas en la gestación, no se encontraron muchos estudios relacionados con otros sistemas como el urinario, digestivo, el cardiaco o respiratorio, por lo cual se sugiere ampliar la investigación a más enfermedades para evaluar el efecto. No obstante, también se anima a poner especial atención aquellas enfermedades en donde el efecto del Hg ha sido cuantificado y significativo, como por ejemplo anomalías congénitas, deterioro cognitivo e infertilidad.

Se sugiere también que la revisión sistemática se expanda más a la investigación de contaminación ambiental, facilitando metodologías en donde se puedan evaluar varios efectos, y no simplemente para la revisión enfocadas en una sola enfermedad, de tal forma que se puedan abordar los problemas de heterogeneidad de los diferentes estudios.

Bibliografía

- Abass, K., Huusko, A., Knutsen, H., Nieminen, P., Myllynen, P., Meltzer, H., Vahakangas, K y Rautio, A. (2018). Quantitative estimation of mercury intake by toxicokinetic modelling based on total mercury levels in humans. *Environmental International*, 114,1-11. [10.1016/j.envint.2018.02.028](https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.028)
- Abraham, J., Dowling, K., y Florentine, S. (2018). Effects of prescribed fire and post-fire rainfall on mercury mobilization and subsequent contamination assessment in a legacy mine site in Victoria, Australia, *Chemosphere*, 190, 144-153. [10.1016/j.chemosphere.2017.09.117](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.117)
- Afrifa, J., Essien-Baidoo, S., Ephraim, R., Nkrumah, D., y Dankyira, D. (2017). Reduced egfr, elevated urine protein and low level of personal protective equipment compliance among artisanal small scale gold miners at Bibiani-Ghana: A cross-sectional study, *BMC Public Health*, 17 (1), 1-9. [10.1186/s12889-017-4517-z](https://doi.org/10.1186/s12889-017-4517-z)
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2018). Efectos en la salud por la exposición al mercurio. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-en-la-salud-por-la-exposicion-al-mercurio>
- Akanchise, T., Boakye, S., Borquaye, L., Dodd, M., y Darko, G. (2020). Distribution of heavy metals in soils from abandoned dump sites in Kumasi, Ghana. *Scientific African*,10, 1-11. [10.1016/j.sciaf.2020.e00614](https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00614)
- Akerstrom, M., Barregard, L., Lundh, T., y Sallsten, G. (2017). Relationship between mercury in kidney, blood, and urine in environmentally exposed individuals, and implications for biomonitoring. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 320, 17-25. [10.1016/j.taap.2017.02.007](https://doi.org/10.1016/j.taap.2017.02.007)
- Akkaya, B., Kucukal, E., Little, J., y Gurkan, U. (2019). Mercury leads to abnormal red blood cell adhesion to laminin mediated by membrane sulfatides, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. 1861 (6), 1162-1171. [10.1016/j.bbamem.2019.03.008](https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2019.03.008)
- Aslam, M., Meng, B., Abdelhafiz, M., Liu, J., y Feng, X. (2022). Unravelling the interactive effect of soil and atmospheric mercury influencing mercury

- distribution and accumulation in the soil-rice system. *Science of the Total Environment*, Volumen 803, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149967>
- Aram, S., Osei Lartey, P., Amoah, S., y Appiah, A. (2021). Gold eco-toxicology: Assessment of the knowledge gap on the environmental and health effects of mercury between artisanal small scale and medium scale gold miners in Ghana. *Resources Policy*, 72, 1-7, [10.1016/j.resourpol.2021.102108](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102108)
- Armah, F., Boamah, S., Quansah, R., Obiri, S., y Luginaah, I. (2016). Unsafe occupational health behaviors: Understanding mercury-related environmental health risks to artisanal gold miners in Ghana. *Frontiers in Environmental Science*, 4 (29), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00029>
- Asamblea Legislativa. (2020). Ley N°7554 Orgánica del Ambiente. Recuperado de https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=FN
- Asamblea Legislativa. (2020). Tratado Internacional N°9391 Convenio de Minamata sobre el Mercurio. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=82755&nValor3=105958&strTipM=FN
- Ashner, M., Dos Santos, A., Chan, L y Liejun, G (2018). Capítulo 35 Fetal Minamata Disease: A Human Episode of Congenital Methylmercury Poisoning, En William Slikker, Merle G. Paule, Cheng Wang (pp. 399-406). United States: Academic Press.
- Ashrap, P., Watkins, D., Mukherjee, B., Boss, J., Richards, M., Rosario, Z., Vélez, C., Alshawabkeh, A., Cordero, J y Meeker, J. (2020). Maternal blood metal and metalloid concentrations in association with birth outcomes in Northern Puerto Rico, *Environment International*, 138, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105606>
- Asociación Española de Enfermería en Cuidados Paliativos (AECPAL). (s.f). Guía para una revisión sistemática. Recuperado de <http://www.secpal.com/Documentos/Blog/Gu%C3%ADa%20Revisi%C3%B3n%20Sistem%C3%A1tica.pdf>
- Atti, S., Silver, E., Chokshi, Y., Casteel, S., Kiernan, E., De la Cruz, R., Kazzi, Z y Geller, R. (2019). All that glitters is not gold: Mercury poisoning in a family

- mimicking an infectious illness. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 50(2), 1-6. [10.1016/j.cppeds.2020.100758](https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2020.100758)
- Ayme, I., Cajahuanca, R., Gozar, R., Matos, S., Miranda, N., Rivera, V., y Huiman, A. (2019). Riesgos a la salud y ambiente por el uso de lámparas que contienen mercurio. *Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (4), 93-119. Recuperado de [10.18800/kawsaypacha.201902.005](https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.005)
- Beaglehole, R., Bonita, R. y Kjellstrom, T. (2003). *Epidemiología básica*: Washington, D.C: OPS.
- Becker, J., Bose-O'Reilly, S., Shoko, D., Singo, J., y Steckling-Muschack, N. (2020). Comparing the self-reported health-related quality of life (HRQoL) of artisanal and small-scale gold miners and the urban population in Zimbabwe using the EuroQol (EQ-5D-3L+C) questionnaire: a cross-sectional study. *Health and quality of life outcomes*, 18, (253), 1-13. [10.1186/s12955-020-01475-0](https://doi.org/10.1186/s12955-020-01475-0)
- Beckers, F. y Rinklebe, J. (2017). Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human. health implications: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(9), 693-794. [10.1080/10643389.2017.1326277](https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1326277)
- Calao, C., Bravo, A., Paternina, R., Marrugo, J. y Díez, S. (2021). Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. *Environment International*, 146, 1-9. [10.1016/j.envint.2020.106216](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106216)
- Camacho de la Cruz, A., Espinosa, G., Reboloso, C., Carrizales, L., Ilizaliturri, C., Reyes, L. y Díaz, F. (2021). Holistic health risk assessment in an artisanal mercury mining region in Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(541). [10.1007/s10661-021-09312-7](https://doi.org/10.1007/s10661-021-09312-7)
- Carrasco, P., Estarlich, M., Iñiguez, C., Ferrero, A., Murcia, M., Esplugues, A., Vioque, J., Loreto, S., Zabaleta, C., Iriarte, G, Fernández, A., Tardon, A., Vrijheid, M., Sunyer, J., Ballester, F. y Llop, S. (2021). carr health in preschool children from the Spanish INMA Birth Cohort Study, *Science of The Total Environment*, 782, 1-8, [10.1016/j.scitotenv.2021.146654](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146654)
- Castilhos, Z., Rodrigues-Filho, S., Cesar, R., Rodrigues, A., Villas-Bôas, R., De Jesus, I., Lima, M; Faial, K; Miranda, A; Brabo, E; Beinhoff, Ch. y Santos, E. (2015). Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the brazilian amazon. *Environmental Science*

and Pollution Research International, 22(15). 11255-11264,
<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4340-y>

Centro Cochrane Iberoamericano, traductores. Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones, versión 5.1.0 [actualizada en marzo de 2011] [Internet]. Barcelona: Centro Cochrane Iberoamericano; 2012. Disponible en <http://www.cochrane.es/?q=es/node/269>

Chamizo, H. (2018). Epidemiología Ambiental: Conceptos básicos de toxicología. [presentación power point], SL0703: Epidemiología ambiental. Universidad de Costa Rica

Chamizo, H. (2018). Epidemiología Ambiental: Dosimetría: Principios de toxicología ambiental. [presentación power point], SL0703: Epidemiología ambiental. Universidad de Costa Rica

Chang, C., Chen, C., Yin, R., Shen, Y., Mao, K., Yang, Z., Feng, X. y Zhang, H. (2020). Bioaccumulation of Hg in Rice Leaf Facilitates Selenium Bioaccumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) Leaf in the Wanshan Mercury Mine. *Environmental science & technology*, (2020), Vol.54 (6), p.3228-3236. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b06486>

Chen, L., Liang, S., Liu, M., Yi, Y., Mi, Z., Zhang, Y., Li, Y; Qi, J; Meng, J; Tang, X; Zhang, H; Tong, Y; Zhang, W; Wang, X; Shu, J. y Yang, Z. (2019). Trans provincial health impacts of atmospheric mercury emissions in China. *Nature communications*, 10(1), 1484. [10.1038/s41467-019-09080-6](https://doi.org/10.1038/s41467-019-09080-6)

Chen, C., Driscoll, C., Eagles-Smith, C., Eckley, C., Gay, D., Hsu-Kim, H., Heileen, H; Keane, S; Kirk, J; Mason, R; Obrist, D; Selin, H; Selin, N. y Thompson, M. (2018). A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. *Environmental Science & Technology*, 52(17), 9556-9561. [10.1021/acs.est.8b02286](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02286)

Chieco, P y Bonifazi, E. (2008). Dermatite allergica da contatto sistemica da inalazione di vapori di mercurio –síndrome del babuino–. *European Journal of Pediatric Dermatology*, 18(1), 9–12. <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/ehost/detail/detail?vid=3&sid=75fb0956-4bf9-48ed-b49b-9143b5370b6f%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2I0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=32440672&db=asn>

- Cho, H., Kim, S., y Park, M. (2020) An association of blood mercury levels and hypercholesterolemia among Korean adolescents. *Science of The Total Environment*, 709, 1-6. [10.1016/j.scitotenv.2019.135965](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135965)
- Cifuentes, F., Diaz, R y Osses, S. (2018). Ecología del comportamiento humano. *Acta bioética*, 24(2), 161-165. [10.4067/S1726-569X2018000200161](https://doi.org/10.4067/S1726-569X2018000200161)
- Cui, X., Wang, X y Liu, B (2020). The characteristics of heavy metal pollution in surface dust in Tangshan, a heavily industrialized city in North China, and an assessment of associated health risks. *Journal of Geochemical Exploration*, 210, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106432>
- Czolgosz, T., Kannikeswaran, N., y Stankovic, C. (2015). A Male Adolescent With Fever, Headaches, and Body Aches. *Clinical Pediatric Emergency Medicine*, 16 (2), 125-130. [10.1016/j.cpem.2015.04.009](https://doi.org/10.1016/j.cpem.2015.04.009)
- Escuela de Tecnologías en Salud (2017). La escuela y su historia. Recuperado de <https://tecsalud.ucr.ac.cr/historia/>
- Fernández, A. (2017). *Desarrollo de un perfil nacional de uso de mercurio en Costa Rica a la luz de la entrada en vigencia del Convenio de Minamata* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica). Recuperado de Repositorio del SIBDI-UCR ([8080/jspui/handle/123456789/4007](https://sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/4007))
- Fernández, N. (2017a). *Estudio exploratorio sobre la exposición de mercurio que poseen las personas trabajadoras de la minería artesanal de oro y sus familias, en una cooperativa d las Juntas de Abangares, Costa Rica, durante el periodo 2015-2016* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica). Recuperado de Repositorio del SIBDI-UCR ([8080/jspui/bitstream/123456789/13395/1/41942.pdf](https://sibdi.ucr.ac.cr/bitstream/123456789/13395/1/41942.pdf))
- Gamboa, V (2017) *Revisión sistemática sobre el Apego Adulto: un acercamiento hacia la neurología y su importancia en el establecimiento de la alianza terapéutica*. (Tesis de grado y título de especialista en psicología clínica inédita, Universidad de Costa Rica, Costa Rica). Recuperado de Repositorio del SIBDI-UCR doi: ([8080/jspui/bitstream/123456789/10129/1/40825.pdf](https://sibdi.ucr.ac.cr/bitstream/123456789/10129/1/40825.pdf))
- Gea-Izquierdo, E., (2014) *Salud Ambiental*. (1era edición). Ecuador: Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Recuperado. Recuperado de <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/80141>

- Geier, A., Kern, J., Hommed, y Geier, M (2019). A Cross-Sectional Study of Blood Ethylmercury Levels and Cognitive Decline among Older Adults and the Elderly in the United States. *Journal of Alzheimer's Disease*. 73(3), 901-910, <https://doi.org/10.3233/JAD-190894>
- Gochfeld, M. (2003). Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(1), 174-179. [10.1016/S0147-6513\(03\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00060-5)
- González, M., Bodas, A., Guillén, J., Rubio, M., Ordóñez, J., Trasobares, E., Martel, N; Martínez, J; Farré, R; Herráiz, M; Martínez, T; Calvo, E; Sáinz, M; Bretón, I; Prieto, S; Llorente, M; Martínez, M; Salas, J; Bermejo, P; García, J; ... y Calle, A. (2014). Exposición al metilmercurio en la población general; toxicocinética; diferencias según el sexo, factores nutricionales y genéticos. *Nutrición Hospitalaria*. 30 (5). [10.3305/nh.2014.30.5.7727](https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7727)
- Gutiérrez, H., Sujitha, S., Jonathan, M., Sarkar, S., Medina, F., Ayala, H., Morales, G. y Arreola, L. (2018). Mercury levels in human population from a mining district in Western Colombia, *Journal of Environmental Sciences*, 68, 83-90, [10.1016/j.jes.2017.12.007](https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.007)
- Gravel, S., Lavoué, J., Bakhiyi, B., Lavoie, J., Roberge, B., Patry, L., Bouchard, F., Verner, A., Zayed, J y Labrèche, F. (2020). Multi-exposures to suspected endocrine disruptors in electronic waste recycling workers: Associations with thyroid and reproductive hormones, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 225, 1-8, [10.1016/j.ijheh.2019.113445](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113445)
- Gyanfi, O., Sorenson, P., Darko, G., Ansah, E. y Bak, J. (2020). Human health risk assessment of exposure to indoor mercury vapour in a Ghanaian artisanal small-scale gold mining community, *Chemosphere*, 241, 1-8, [10.1016/j.chemosphere.2019.125014](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125014)
- Hernández, S., Fernández, C y Batista, P. (2010). Metodología de la investigación. (5ta edición). México: McGraw-Hill.
- Infante, C., Calderón, J., Torres, É y Álvarez, J. (2010). Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. *Investigación En enfermería: Imagen y Desarrollo*, 12(2), 93–116.

<http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=5f4dcf8c-8442-4362-ae0a-8f2fdf73f731%40sdc-v-sessmgr03>

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2019). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. En línea en. <https://www.insst.es/documents/94886/188493/L%C3%ADmites+de+exposici%C3%B3n+profesional+para+agentes+qu%C3%ADmicos+2019/7b0b9079-d6b5-4a66-9fac-5ebf4e4d83d1>
- Jensen, M., Combariza, D. y Sripada, K. (2021). Mercury exposure among e-waste recycling workers in colombia: Perceptions of safety, risk, and access to health information. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph18179295>
- Jeppesen, C., Valera, B., Nielsen, N., Bjerregaard, P., y Jørgensen, M. (2015). Association between whole blood mercury and glucose intolerance among adult Inuit in Greenland. *Environmental Research*, 143 (A), 192-197. [10.1016/j.envres.2015.10.013](https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.10.013)
- Jin, L., Liu, M., Zhang, L., Li, Z., Yu, J., Liu, J., Ye, R., Chen, L y Ren, A. (2016). Exposure of methyl mercury in utero and the risk of neural tube defects in a Chinese population. *Reproductive Toxicology*, 61, 131-135. [10.1016/j.reprotox.2016.03.040](https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2016.03.040)
- Jin, Y., Pan, Y., Tang, Z., y Song, Y (2019). Mercury Poisoning Presenting with Hypertension: Report of 2 Cases. *The American Journal of Medicine*. 132(12), 1475–1477. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.03.050>
- Koh, H., Kim, T., Sheen, Y., Lee, S., An, J., Kim, M., Han, H y Yon, D. (2019). Serum heavy metal levels are associated with asthma, allergic rhinitis, atopic dermatitis, allergic multimorbidity, and airflow obstruction, *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 7 (8), 2912-2915. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2019.05.015>
- Koren, H y Bisesi, M. (2002). Handbook of Environmental Health, Volume I. Boca Raton: CRC Press, <https://doi.org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/10.1201/9780849377952>
- Kozikowska, I., Binkowski, L., Szczepańska, k., Sławska, H., Miszczuk, K., Śliwińska, M., Łaciak, T y Stawarz, R (2013). Mercury concentrations in human placenta, umbilical cord, cord blood and amniotic fluid and their relations with body

- parameters of newborns. *Environmental Pollution*, 182. 256-262. [10.1016/j.envpol.2013.07.030](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.030)
- Kuras, R., Reszka, E., Wieczorek, E., Jablonska, E., Gromadzinska, J., Malachowska, B., Kozłowska, L., Stanisławska, M., Janasik, B y Wasowicz, W. (2018). Biomarkers of selenium status and antioxidant effect in workers occupationally exposed to mercury. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49, 43-50. [10.1016/j.jtemb.2018.04.032](https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.04.032)
- Littell, J. y Corcoran, J. (2010). Revisión sistemática. En Thyer, B. *El manual de métodos de investigación del trabajo social* (págs. 313-338). 55 City Road, Londres: SAGE Publications, Inc. [10.4135/9781544364902](https://doi.org/10.4135/9781544364902)
- Liu, J., Portnoy, J., Um, P., Cui, N., Rudo-Hutt, A., Yan, C., Raine, A y Chen, A. et al. (2021). Blood lead and mercury levels are associated with low resting heart rate in community adolescent boys. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233, 1-7. [10.1016/j.ijheh.2020.113685](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113685)
- Lu, Z., Ma, Y., Gao, L., Li, Y., Li, Q., y Qiang, M. (2018). Urine mercury levels correlate with DNA methylation of imprinting gene H19 in the sperm of reproductive-aged men. *PloS one*, 13(4). [10.1371/journal.pone.0196314](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196314)
- Malcolm, E. (2016). Human Impacts on Earth's Natural Mercury Cycle. En Sharon, L., (Ed) Zuber, S. (Ed.), Newman, M. (Ed.). *Mercury Pollution*. Boca Raton: CRC Press, [https://www.taylorfrancis-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/books/9780429152108/chapters/10.1201/b11383-10](https://www.taylorfrancis.com/ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/books/9780429152108/chapters/10.1201/b11383-10)
- Mallongi, A., Stang, Syamsuar, Natsir, M., Astuti, R., Rauf, A., Rachmat, M y Muhith, A. (2020). Potential ecological risks of mercury contamination along communities area in tonasa cement industry Pangkep, Indonesia. *Enfermería Clínica*, 30 (4), 119-122. [10.1016/j.enfcli.2019.10.054](https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.10.054)
- Magnavita, N., Sabatelli, M., Scoditti, E., y Chirico, F. (2020). Personalized Prevention in Mercury-Induced Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Case Report. *Applied Sciences*, 10, 1-9. <https://doi.org/10.3390/app10217839>
- Mambrey, V., Rakete, S., Tobollik, M., Shoko, D., Moyo, D., Schutzmeier, P., Steckling, N., Muteti, S y Bose-O'Reilly, S. (2020). Artisanal and small-scale gold mining: A cross-sectional assessment of occupational mercury exposure and exposure

- risk factors in Kadoma and Shurugwi, Zimbabwe, *Environmental Research*, 184, 1-7 [10.1016/j.envres.2020.109379](https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109379).
- Meleleo, D., Sblano, C., Storelli, M., y Mallamaci, R. (2020). Evidence of cadmium and mercury involvement in the A β 42 aggregation process. *Biophysical Chemistry*, 266, 1-11. [10.1016/j.bpc.2020.106453](https://doi.org/10.1016/j.bpc.2020.106453)
- Mikalsen, S., Bjørke-Monsen, A., Flaten, T., Whist, J., y Aaseth, J. (2019). Cadmium, lead and mercury in Norwegian obese patients before and 12 months after bariatric surgery. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 54, 150-155. [10.1016/j.jtemb.2019.04.008](https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.04.008)
- Ministerio de Ambiente y Energía (2017). Mercurio en áreas prioritarias de Costa Rica. Recuperado de <http://www.digeca.go.cr/documentos/mercurio-en-areas-prioritarias-de-costa-rica>
- Molina, C., Arango, M y Sepúlveda, H. (2018). Contaminación por mercurio de leche materna de madres lactantes de municipios de Antioquia con explotación minera de oro. *Revista Biomédica*, 38, 19-29. <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/3609>
- Morosini, C., Terzaghi, E., Raspa, G., Zanardini, E., Anelli, S., Armiraglio, S., Petranich, E., Covelli, S y Di Guardo, A. (2021) Mercury vertical and horizontal concentrations in agricultural soils of a historically contaminated site: Role of soil properties, chemical loading, and cultivated plant species in driving its mobility. *Environmental Pollution*, 285 (1). 1-8. [10.1016/j.envpol.2021.117467](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117467)
- Muñoz, L., García, L y Rodríguez, A. (2012). Percepción sobre daños a la salud y utilidad de medidas de protección de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la minería del oro. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(1), 53–61. <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=5f4dcf8c-8442-4362-ae0a-8f2fdf73f731%40sdc-v-sessmgr03>
- Murillo, J. (2016). *Desarrollo de un inventario de las emisiones de mercurio generadas en Costa Rica en el año 2014 a un nivel N2* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica). Recuperado de Repositorio del SIBDI-UCR (8080/jspui/handle/123456789/4009)
- Nabgha-e-Amen, E., Khuram, F., Alamdar, A., Tahir, A., Shah, S., Nasir, A., Javed, S., Bibi, N., Hussain, A., Rasheed, H y Shen, H. (2020). Environmental exposure pathway analysis of trace elements and autism risk in Pakistani children

population. *Science of The Total Environment*, 712,1-9.
[10.1016/j.scitotenv.2019.136471](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136471)

Nayab, G, Sardar, K., Abbas, K., Nawab, J., Sarwar, A y Gul, N. (2020). Organic and Inorganic Mercury in Biological Samples of Fluorescent Lamp Industries Workers and Health Risks. *Biomedical and Environmental Sciences*, 33 (2), 89-102. [10.3967/bes2020.013](https://doi.org/10.3967/bes2020.013)

Nurbaidah, F y Delgado, J (2020). Chronic exposure to heavy metals from informal e-waste recycling plants and children's attention, executive function and academic performance. *Science of The Total Environment*, 717, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137099>

Nyanza, E., Dewey, D., Manyama, M., Martin, J., Hatfield, J., y Bernier, F. (2020). Maternal exposure to arsenic and mercury and associated risk of adverse birth outcomes in small-scale gold mining communities in Northern Tanzania, *Environment International*, 137, 1-10. [10.1016/j.envint.2019.105450](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105450)

Obiri, F., Duah, A., Karikari, A., Agyekum, W., Manu, E., y Tagoe, R. (2021). Assessment of heavy metal contamination in soils at the Kpone landfill site, Ghana: Implication for ecological and health risk assessment. *Chemosphere*, 282, 1-9. [10.1016/j.chemosphere.2021.131007](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131007)

O'Donoghue, J., Watson, G., Brewer, R, Zareba, G., Eto, K, Takahashi, H., Marumoto, M., Love, T., Harrington, D y Myers, G (2020) Neuropathology associated with exposure to different concentrations and species of mercury: A review of autopsy cases and the literature. *Neurotoxicology*. 78. 88-98,
[10.1016/j.neuro.2020.02.011](https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.02.011)

Onwuzuligbo, O., Hendricks, A., Hassler, J., Domanski, K., Goto, C., y Wolf, M. (2018). Mercury Intoxication as a Rare Cause of Membranous Nephropathy in a Child. *American Journal of Kidney Diseases*, 72(4), 601-605.
[10.1053/j.ajkd.2018.05.013](https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.05.013)

Organización Mundial de la Salud (OMS). El mercurio y la salud. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

Orozco, A., Solano, K. y Villalobos, K. (2009). Propuesta para el manejo ambiental de los desechos sólidos domiciliarios en el Distrito Central del Cantón de San Isidro, Heredia (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- Ovadge, L., Calys-Tagoe, B., Clarke, E., & Basu, N. (2021). Registration status, mercury exposure biomarkers, and neuropsychological assessment of artisanal and small-scale gold miners (ASGM) from the Western Region of Ghana, *Environmental Research*, 201, [10.1016/j.envres.2021.111639](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111639)
- Park, J., Ha, K., He, K., y Kim, D. (2017) Association between Blood Mercury Level and Visceral Adiposity in Adults. *Diabetes Metab J*, 41 (2), 113-120, <https://doi.org/10.4093/dmj.2017.41.2.113>
- Pavilonis, B., Grassman, J., Johnson, G., Diaz, Y., y Caravanos, J. (2017). Characterization and risk of exposure to elements from artisanal gold mining operations in the Bolivian Andes. *Environmental Research*, 154, 1-9. [10.1016/j.envres.2016.12.010](https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.010).
- Pérez, C. (2012). Las revisiones sistemáticas: declaración PRISMA. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 18(1), 57-58. Recuperado de http://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/Nutr_1-2012%20Taller%20escritura.pdf
- Pérez, P., Hintelmann, H., Lobos, G., y Bravo, M. (2019). Mercury and methylmercury levels in soils associated with coal-fired power plants in central-northern Chile, *Chemosphere*, 137, 1-8, [10.1016/j.chemosphere.2019.124535](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124535).
- Philibert, A., Fillion, M y Mergler, D (2020). Mercury exposure and premature mortality in the Grassy Narrows First Nation community: a retrospective longitudinal study. *The Lancet Planetary Health*, 4 (4), 141-148. [10.1016/S2542-5196\(20\)30057-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30057-7)
- Poder Ejecutivo. (2020). Decreto Ejecutivo N°33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59524&nValor3=83250&strTipM=TC
- Poder Ejecutivo (2020). Decreto Ejecutivo N°38924-S Reglamento para la calidad del agua potable. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC

- Poder Ejecutivo (2020). Decreto Ejecutivo N°37757 Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=75223&nValor3=93682&strTipM=FN
- Poder Ejecutivo. (2020). Decreto Ejecutivo N°37225 Reglamento de la actividad de la minería artesanal y en pequeña escala para subsistencia familiar por parte de Cooperativas Mineras. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=73102&nValor3=103003&strTipM=FN
- Poder Ejecutivo. (2020). Decreto Ejecutivo N°40053 Ratificación de la República de Costa Rica al Convenio de Minamata sobre el Mercurio. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=83253&nValor3=106820&strTipM=FN
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018). Evaluación mundial de mercurio 2018. Recuperado el 03/11/20 Recuperado de. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29830/GMAKF_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018) Global Mercury Assessment. Recuperado el 03/11/20. Recuperado de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27579/GMA2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2013). Convenio de Minamata sobre el Mercurio. Recuperado de <http://www.mercuryconvention.org/>
- Ramírez, V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. Anales de la facultad de medicina Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-5583200800010001
- Reuben, A., Frischtak, H., Berky, A., Ortiz, E., Morales, A., Hsu, H., Pendergast, L y Pan, W. (2020). Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. *GeoHealth*, 4, 1-11. [10.1029/2019GH000222](https://doi.org/10.1029/2019GH000222)

- Reyes, A., Nazila, B., Pérez, L., y Rodríguez, M. (2018). Descarte De Lámparas Ahorradoras De Energía Y Su Relación Con La Exposición a Mercurio. Caso: Bella Vista, Estado Aragua, Venezuela. *Saber: Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación*, 30, 78-88. <https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=135117746&lang=es&site=ehost-live&scope=site>
- Riaz, A., Khan, S., Shah, M., Li, G., Gul, N., y Shamshad, I (2016). Mercury contamination in the blood, urine, hair and nails of the gold washers and its human health risk during extraction of placer gold along Gilgit, Hunza and Indus rivers in Gilgit-Baltistan, Pakistan, *Environmental Technology & Innovation*, 5, 22-29. [10.1016/j.eti.2015.11.003](https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.11.003)
- Rosales, A., Malca, N., Alarcón, J., Chávez, M., y Gonzáles, M. (2013). Daño Genotóxico en Trabajadores De Minería Artesanal Expuestos Al Mercurio. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(4), 595–600. <http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=d0b395e5-f17b-46d5-934f-d0bcd4639d22%40pdc-v-sessmgr05>
- Rozo, S (2020). Unintended effects of illegal economic activities: Illegal gold mining and malaria. *World Development*, 136, 1-16. [10.1016/j.worlddev.2020.105119](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105119)
- Ryu, J., Ha, E., Kim, B., Ha, M., Kim, Y., Park, H., Hong, Y, y Kim, K. (2017). Associations of prenatal and early childhood mercury exposure with autistic behaviors at 5years of age: The Mothers and Children's Environmental Health (MOCEH) study. *Science of The Total Environment*, 605, 251-257. [10.1016/j.scitotenv.2017.06.227](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.227)
- Sahakyan, L., Tepanosyan, G., Maghakyan, N., Kafyan, M., Melkonyan, G y Saghatelyan, A. (2019). Contamination levels and human health risk assessment of mercury in dust and soils of the urban environment, Vanadzor, Armenia. *Atmospheric Pollution Research*, 10(3), 808-816. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.009>
- Saldaña, K., Pérez, F., Ávila, I., Méndez, K., Carrizalez, L., Gavilán, A., Vargas, J., Van, E y Diaz, F. (2022). Preliminary study on health impacts of Mexican mercury mining workers in a context of precarious employment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 71, 1-8. [10.1016/j.jtemb.2022.126925](https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.126925)

- Sedigheh, A., Movahedian, A., Keshvari, M., Taleghani, M., Sahebkar, A., & Sarrafzadegan, N. (2017). Serum levels of lead, mercury and cadmium in relation to coronary artery disease in the elderly: A cross-sectional study. *Chemosphere*, 180, 540-544. [10.1016/j.chemosphere.2017.03.069](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.069)
- Streets, D., Horowitz, H., Jacob, D., Lu, S., Levin, L., Schure, A y Sunderland, E. (2017) Total Mercury Released to the *Environment by Human Activities*. 51 (11), 5969–5977. [10.1021/acs.est.7b00451](https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00451)
- Suvd, D., Davaadorj, R., Baatartsol, D., Unursaikhan, S., Tsengelmaa, M., Oyu, T., Yunden, S; Hagan, A y Böse-O'Reilly, S. (2015). Toxicity Assessment in Artisanal Miners from Low-level Mercury Exposure in Bornuur and Jargalant Soums of Mongolia. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 97-102, [10.1016/j.proenv.2015.10.017](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.017)
- Sysalova, J., Kucera, J., Drtinova, B., Aervenka, R., ZvAAina, O., Komarek, J y Kamenik, J. (2017). Mercury species in formerly contaminated soils and released soil gases. *Science of The Total Environment*, 584–585,1032-1039, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.157>
- Thomas, S., Arbuckle, T., Fisher, M., Fraser, W., Ettinger, A., y King, W (2015). Metals exposure and risk of small-for-gestational age birth in a Canadian birth cohort: The MIREC study. *Environmental Research*, 140, 430-439, [10.1016/j.envres.2015.04.018](https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.04.018)
- Tomuyasu, T., Kodamatani, H., Imura, R., Matsuyama, A., Miyamoto, J., Akagi, H., Kocman, D., Kotnik, J., Fajon, V y Horvat, M. (2017). The dynamics of mercury near Idrija mercury mine, Slovenia: Horizontal and vertical distributions of total, methyl, and ethyl mercury concentrations in soils. *Chemosphere*, 184, 244-252. [10.1016/j.chemosphere.2017.05.123](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.123)
- Tong, M., Yu, J., Liu, M., Li, Z., Wang, L., Yin, C., Ren, A., Chen, L y Jin, L. (2021), Total mercury concentration in placental tissue, a good biomarker of prenatal mercury exposure, is associated with risk for neural tube defects in offspring, *Environment International*, 150, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106425>
- University of Arizona (2020). Superfund Research Program. Recuperado de <https://superfund.arizona.edu/>

- Wang, C., Yang, Z., Zhang, Y., Zhang, Z., y Cai, Z. (2018). PAHs and heavy metals in the surrounding soil of a cement plant Co-Processing hazardous waste, *Chemosphere*, 210, 247-256. [10.1016/j.chemosphere.2018.06.177](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.177)
- Wang, G., DiBari, J., Bind, E., Steffens, A., Mukherjee, J., Bartell, T., Bellinger, D., Hong, X., Ji, Y., Wang, M., Wills, M., Cheng, T y Wang, X (2019). In utero exposure to mercury and childhood overweight or obesity: counteracting effect of maternal folate status. *BMC Med* ,17(216), 1-10, [10.1186/s12916-019-1442-2](https://doi.org/10.1186/s12916-019-1442-2)
- Wongsasuluk, P., Tun, A., Chotpantarat, S., y Siriwong, W. (2021) Related health risk assessment of exposure to arsenic and some heavy metals in gold mines in Banmauk Township, Myanmar. *Scientific Reports*, 11, 1-9. [10.1038/s41598-021-02171-9](https://doi.org/10.1038/s41598-021-02171-9)
- Yang, L., Li, S., Wen, T., Meng, F., Chen, G., y Qian, X et al. (2020). Influence of ferrous-metal production on mercury contamination and fractionation in farmland soil around five typical iron and steel enterprises of Tangshan, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 188, 1-8, [10.1016/j.ecoenv.2019.109774](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109774)
- Yassi, A., Kjellström, T., De Kok, T y Guidotti, T (2000). Salud Ambiental Básica. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. En. <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/tysa/images/libros/Libro%20SALUD%20AMBTAL%20BASICA.pdf>
- Yazdaniyan, M., Ghanizadeh, G., Rastgoo, S., y Shokouh, S. (2020) Evaluation of kidney function and oxidative stress biomarkers in prolonged occupational exposure with mercury in dentists. *Gene Reports*,19, 1-4. [10.1016/j.genrep.2020.100627](https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100627)
- Young, A (2020). Acute Elemental Mercury Poisoning Masquerading as Fever and Rash. *Journal of Medical Toxicology*. 16, 470-476. [10.1007/s13181-020-00792-6](https://doi.org/10.1007/s13181-020-00792-6)
- Zapata, R., Paéz, M., Méndez, F., Abrahams, N., Artunduaga, Y., y Ordoñez, J (2018). Estudio exploratorio de evaluación de riesgo en la salud de madres lactantes por consumo de pescado contaminado del río Cauca, en el Valle del Cauca

(Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 22(43), 15-28. [10.11144/Javeriana.ayd22-43.eeer](https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.eeer)

- Zhang, C., Gan, C., Ding, L., Xiong, M., Zhang, A., y Li, P. (2020). Maternal inorganic mercury exposure and renal effects in the Wanshan mercury mining area, southwest China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 189, 1-5. [10.1016/j.ecoenv.2019.109987](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109987)
- Zhang, J., Wang, J., Hu, J., Zhao, J., Li, J., & Cai, X. (2021). Associations of total blood mercury and blood methylmercury concentrations with diabetes in adults: An exposure-response analysis of 2005-2018 NHANES, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 68, <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126845>
- Zhou, J., Wu, S., Pan, Y., Su, Y., Yang, L., Zhao, J., Lu, Y., Xu, Y., Oh, K y Qian, G (2015). Mercury in municipal solids waste incineration (MSWI) fly ash in China: Chemical speciation and risk assessment, *Fuel*, 158, 619-624. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.05.071>
- Zhou, Y., Fu, X., He, D., Zou, X., Wu, C., Guo, W., y Feng, W. (2016). Evaluation of urinary metal concentrations and sperm DNA damage in infertile men from an infertility clinic. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 45, 68-73. [10.1016/j.etap.2016.05.020](https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.05.020)
- Zhu, F., Chen, C., Zhang, Y., Chen, S., Huang, X., Li, J., Wang, Y; Liu, X; Deng, G y Gao, J. (2020). Elevated blood mercury level has a non-linear association with infertility in U.S. women: Data from the NHANES 2013–2016. *Reproductive Toxicology*, 91, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2019.11.005>.

Anexos

Anexo 1. Combinaciones utilizadas en las bases de datos en inglés y español

Ingles	Español
Chapter 1	Capítulo 1
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (Primer sector)	(emisiones de mercurio) Y (cuantificación) y (sector primario)
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (Chlor alkali)	(emisiones de mercurio) Y (cuantificación) Y (cloro-álcali)
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (stationary combustion of coal)	(emisiones de mercurio) AND (cuantificación) AND (combustión estacionaria de carbón)
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (stationary combustion of gas)	(emisiones de mercurio) AND (cuantificación) AND (combustión estacionaria de gas)
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (stationary combustion of oil)	(emisiones de mercurio) Y (cuantificación) Y (combustión estacionaria de petróleo)
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (manufacture of cement)	(emisiones de mercurio) Y (cuantificación) Y (fabricación de cemento)
(Mercury emissions) AND (quantification) AND (non-ferrous materials) NOT (isotope)	(emisiones de mercurio) Y (cuantificación) Y (materiales no ferrosos) NO (isótopo)
(Mercury concentration) AND (quantification) AND (waste) AND (electronic) NOT (isotope)	(concentración de mercurio) Y (cuantificación) Y (residuos) Y (electrónico) NO (isótopo)
Chapter 2	Capítulo 2
(Mercury) AND (blood) AND (concentrations) AND (Workers) AND (protection) AND (equipment)	(Mercurio) AND (sangre) AND (concentraciones) AND (Trabajadores) AND (protección) AND (equipo)
(Mercury) AND (Contact rate) AND (Exposure frequency) AND (Exposure duration) AND (Body mass) AND (Averaging time)	(Mercurio) Y (Tasa de contacto) Y (Frecuencia de exposición) Y (Duración de la exposición) Y (Masa cor-

	poral) Y (Tiempo promedio)
Chapter 3	Capítulo 3
(Mercury) AND (prevalence) (Relative risk) AND (Pregnancy)	(Mercurio) Y (Prevalencia) (Riesgo relativo) Y (Embarazo)
(Mercury) AND (prevalence) (Relative risk) AND (Pregnancy) AND (Odds Ratio)	(Mercurio) Y (Prevalencia) (Riesgo relativo) Y (Embarazo) Y (Odds Ratio)
(Mercury) AND (prevalence) (Relative risk) AND (Child) AND (Odds Ratio)	(Mercurio) Y (Prevalencia) (Riesgo relativo) Y (Niño) Y (Odds Ratio)
(Mercury) AND (symptom) AND (illness) AND (Disease) AND (Odds Ratio)	(Mercurio) Y (síntoma) Y (enfermedad) Y (Enfermedad) Y (Odds Ratio)

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 2. Ficha de validez general a utilizar en los artículos

Nombre del artículo	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	

Fuente. Elaboración propia 2022

Anexo 3. Validez de artículos relacionados con la contaminación ambiental, según medio contaminado y fuente categorizada por sector primario, secundario y terciario.

Artículo y autor	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	
Minería de oro artesanal, Pinal de Amoles, México, Camacho de la Cruz et al. (2021)	Experimental	sesgo de selección	8 muestras suelo, 11 agua.	Analizador portátil de vapor de mercurio JEROME® J405 (AMETEK Arizona Instrument) Agua y suelo: método 3015A USEPA
Actividad Minera, Idrija. Tomiyasu., et al. (2017)	Experimental	sesgo de selección	14 puntos muestreo	método propuesto por Akagi y Nishimura Calibración entre laboratorios IAEA 085 y 086 Material de referencia certificado NMIJ CRM 7302-a, ERM-CC580
Minería de oro Camarago Querétaro, México. Saldaña, et al (2022)	Prospectivo, transversal, observacional	muestreo no aleatorio	31 mediciones aire 9 muestras suelo 3 muestras de agua	JEROME® J405 (AMETEK Arizona Instrument). Recolección de suelo: Normas mexicanas NMX-AA-132-SCFI-2016 Control de calidad: NIST-1641e

Extracción de cinabrio, Republica Checa, Jedová Hora Hill. Sy-salová, J., et al. (2017)	Experimental	muestreo por examen rápido de GEM	4 muestras	Calibración de los instrumentos, según el fabricante de los instrumentos, Material de referencia ERM-CC580, ERM-CC580 Estuarine Sediment Método RNAA
Minería de oro Artesanal. Yani y Dorado, Bolivia. Pavidonis, B., et al. (2017)	Experimental	muestreo no aleatorio	74 mediciones de suelo 211 mediciones de Vapor Hg	calibración de equipo el día antes, analizador de vapor de mercurio Jerome405, analizador de sistemas portátiles de fluorescencia de rayos X
Producción de arroz, Wanshan, China, Chang et al. (2020)	Experimental controlado	muestreo aleatorio	25 sitios de muestreo	Método 1631 de la EPA de EE. UU. Control de calidad: Los materiales de referencia estándar GBW07405
Producción de Arroz, Gouxi, China, Aslam et al. (2022)	Experimental	muestreo aleatorio	5 campañas de muestreo	calibración de instrumentos, materiales de referencia certificados (CRM's), GBW-07305 (Sediments)

Fábrica de cloro-álcali (Italia). Morosini (2021)	Experimental	9 puntos de muestreo seleccionados por historia y usos del suelo	63 muestras	Método	US-EPA	3051A
				Método	US-EPA	6020A
				Método	7473 de la EPA	
				Método	EPA	1631e
				Materiales de referencia para el control de la calidad		
Planta siderúrgica, Tangshan Iron and steel. Yang et al. (2020)	Experimental	muestreo por método de rayos	33 muestras	Estándar de calidad ambiental del suelo (GB15618-2018) Materiales de referencia estándar (suelo No. GBW07427)		
Industria de cemento, Tonasa, Indonesia. Anwar M., et al. (2020)	Análisis observacional	muestreo accidentalmente aleatorio	10 estaciones de muestreo	-		
Ciudad industrial, Vanadzor, Armenia. Sahakyan, E., et al. (2019)	Experimental	muestreo usando método de Deme-triades y Birke, 2015, Lu et al., 2010, Zhang et al., 2013	42 muestras de polvo 355 muestras de suelo	muestreo utilizando norma ISO-11464 Materiales de Referencia Estándar (NIST 2711 y NIST 2710)		

Ciudad industrial, Tangshan, China. Cui, Wang y Liu (2020)	Experimental	Muestreo tecnología 3S y gridding	162 puntos de muestreo	La exactitud y precisión se establecieron mediante el análisis de los materiales estándar nacionales de suelo de un nivel (serie BGW)
Central eléctrica de carbón, Laguna Verde, Renca, Huasco, Las ventanas. Perez, E., et al. (2019)	Experimental	muestreo no aleatorio, a conveniencia	24 muestras	muestreo siguió estándares internacionales de la US EPA material de referencia CRM IAEA-405 método 1631 de la EPA
Incineración de residuos (China). Zhou, J et al. (2015)	Experimental	sesgo de selección	40 muestras en 15 plantas	se utilizaron procedimientos de extracción secuencial, volatilización térmica y técnicas espectroscópicas
Relleno Sanitario, Knope, Ghana. Obiri-Nyarko, F., et al. (2021)	Experimental	sesgo de selección	5 puntos de muestreo, 17 muestras	análisis de muestras por duplicado, calibración de equipo Materiales de referencia estándar para suelos (IAEA-356)
Coprocesamiento de residuos en fábrica de cemento, China. Wang, C., et al. (2018)	Experimental	muestreo ramdonizado	32 muestras	material de referencia para suelos GBW07405 (NRCCRM, China), fueron usados para medir la precisión del ICP masas y ICP y HG-AFS

Vertedero abandonado, Kronum y Amakon, Ghana. Akanchise T., et al. (2020)	Experimental	muestreo aleatorio estratificado	70 muestras de suelo	calibración de instrumento, Cat: 500292 Mercury Lumex RA 915M
Quema forestal controlada. Abraham, J., et al. (2018)	Experimental	se utiliza método de muestreo STAR	126 muestras de suelo en 18 estaciones, por un año	pruebas se analizaron bajo acreditación NATA-285.
Plantas informales de reciclaje de residuos electrónicos. Nurbaidah, F y Delgado, J (2020)	Experimental	sesgos de selección	10 muestras en suelo	electroscopia de absorción atómica, siguiendo métodos estándar, curvas de calibración, calibración usando método del fabricante

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 4. Validez de artículos relacionados con las concentraciones de sangre en población humana expuesta

Nombre del artículo	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	
Mineros de Sao Chico y Creporizinho, Brasil. Castilhos, Z., et al. (2015)	casos y controles	sesgos de información	697 personas	Material de referencia estándar (cazón, Consejo Nacional de Investigación de Canadá), y se encontró dentro del intervalo esperado. Se utiliza método de Agaki

Trabajadores en industria de lámparas fluorescentes, Pakistán. Nayab G., et al. (2020)	observacional prospectivo de casos y controles	selección de no aleatoria	80 adultos	para asegurar la calidad se utilizaron varios materiales de referencia en las muestras
Lavadoras de oro, ríos Gilgit, Hunza e Indo, Pakistán. Riaz, A., et al. (2016)	observacional transversal	la selección de participantes no fue al azar, si no, fue con los sujetos disponibles al momento del estudio	45 muestras	extracción de muestras siguieron procedimiento estándar, se usó espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer-700).
Mineros de Bornuur y Jargalant, Mongolia. Suvd et al. (2015)	observacional transversal	la población de estudio fue voluntaria, reclutada por doctores locales	73 adultos	se usan métodos estándar para el análisis de las muestras, todas las muestras también fueron duplicadas para verificar su validez. Se usa método de Agaki para el análisis de las muestras de sangre
Minas de Oro artesanal, Cordoba Colombia. Calao-Ramos, C., et al (2021)	observacional transversal	población voluntaria	238 adultos	se utilizaron materiales de referencia certificados para el control de la calidad
Minería de oro artesanal, Kadoma y Shurugwi, Zim-	transversal	se utiliza muestreo de "bola de nieve" y	207 adultos	se habla de calibración de equipo y para garantizar la calidad del

babue. Mambrey, V., et al (2020)	aleatorio	muestreo se utiliza material de referencia ClinChek® -Control, se hace revisión de muestras dos veces para evitar sesgos.	
Minería de Oro artesanal, Bibiani, Ghana. Afrifa, J., et al (2017)	transversal	sesgos de memoria, se utilizan criterios de inclusión y exclusión de participantes 110 adultos	Para garantizar la calidad de los resultados se utilizan los materiales de referencias TraceCERT®, SIGMA-ALDRICH®, EE. UU, y las muestras se analizan en la Comisión de Energía Atómica de Ghana
Trabajadores cloro alcalinos. Kuras, R., et al (2018)	Transversal de casos y controles	selección con participantes dispuestos a dar su consentimiento 131 adultos	german External Quality Control (G-EQUAS)
Distrito minero de San Juan, Colombia. Gutiérrez, H et al (2018)	Transversal	selección por voluntarios 87 adultos	se usó método 7473 (SW-846) de la US EPA Material de referencia para la calidad de las muestras NIST-SRM 3133
Exposición ambiental. Akerstrom, M., et al	Transversal	Donantes de riñón 109 adultos	para control de la calidad se usa material de referencia certificado

(2017)	Community Bureau of Reference [BCR], Bruselas, Bélgica
--------	--

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 5. Validez de artículos relacionados con la tasa de contacto, frecuencia de la exposición, duración de la exposición, masa y tiempo promedio

Nombre del artículo y autor	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	
Exposición de madres lactantes en el río Cauca. Zapata, A., et al. (2018)	Transversal	selección de participantes bien estructurada, se usan criterios de inclusión	22 madres lactantes	Se utiliza el método US EPA 3052, y la espirometría de absorción atómica
Exposición al vapor de mercurio, Gbani, Ghana. Gyanfi, O., et al. (2020)	Transversal	sesgos de selección (solo le incluyen los hogares en donde se permite hacer mediciones)	176 puntos de muestreo	se utiliza el Lumex RA-915 M Zeeman calibrado
Andes Bolivianos. Pavilonis, B., et al (2020)	Transversal			calibración de equipo el día antes, analizador de vapor de mercurio Jerome405, analizador de sistemas portátiles de fluorescencia de

				rayos X
Banmauk, Myanmar. Wongsasuluk, P., et al (2021)	Transversal	uso de criterios de selección para la selección de la población, periodo de trabajo no menor a un año	53 participantes	los reactivos utilizados en el proceso de digestión fueron de grado AnalAR y cumplieron con los requisitos del Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química. La calibración para la cuantificación fue realizada automáticamente por AAS Para la validación del método analítico se realizaron parámetros de validación como el límite de detección y de cuantificación
Tarkwa, Ghana. Ovadje, L., et al (2021)	Transversal	población escogida al azar	404 participantes	La exactitud y precisión del método se midieron mediante el uso de materiales de referencia para la orina (QMEQAS10U-04, Centre de Toxicologie/INSPQ) y el cabello (NIES CRM #13, Instituto Nacional Japonés de Estudios Ambientales, NIES)

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 6. Validez de artículos relacionados con el nivel de educación y el uso de equipo de protección personal

Nombre del artículo y autor	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	
Exposiciones a disruptor endocrinos en empleados de residuos electrónicos. Gravel et al. (2020)	transversal	sesgos de selección. Se usan ciertos criterios de inclusión	100 participantes	-
Mineros de oro artesanal Kado- ma, Zimbabwe. Becker, J., et al. (2020).	transversal	muestreo de bola de nieve	83 participantes	el cuestionario cognitivo complementario (EQ-5D-3L + C). El cuestionario EQ-5D Versión genérica en inglés EQ-5D-3L
comportamientos inseguros de salud ocupacional en MAPE: Ghana. Armah, F., et al. (2016).	transversal	se reduce el sesgo del recuerdo y se usan criterios de inclusión	588 participantes	se valida el cuestionario

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 7. Validez de artículos relacionados con los efectos del mercurio en mujeres embarazadas y niños

1. ¿incluye pocos participantes y por tanto sus intervalos de confianza son amplios?	2. ¿no muestra un efecto (sesgo de publicación) ni resultados (sesgo de informe selectivo)?	3. ¿Existen efectos grandes en el estudio observacional, con ausencia de factores de confusión, por ejemplo, OR $\leq 0,2$ y ≥ 5 e IC del 95%?	4. ¿Todos los posibles sesgos actúan juntos para sobreestimar el efecto?
--	---	---	--

Nombre del artículo y autor	Tipo de diseño	Validez		Precisión	GRADE				
		Interna	Externa		1	2	3	4	Puntuación
Diversos resultados adversos el embarazo, relacionado con Hg en sangre. Nyanza, E., et al (2020)	Longitudinal prospectivo	se manejan los sesgos	N=961	La validez del muestreo de Hg, en sangre seca se garantiza, con pruebas gold estándar, $r^2 > 0,9$ indico fuerte correlación lo cual garantizo la precisión, se siguieron varias medidas de control de calidad, se replicaron las muestras cada cierta cantidad de lotes, y se utilizaron materiales de referencia certificados	no	no	si	no	Alta

Restricción en el crecimiento para la edad gestacional relacionado con Hg en sangre. Thomas, S., et al. (2015)	Cohorte prospectiva	se incluyen criterios de inclusión y exclusión para edad gestacional	N=1835	Se utiliza espectrometría de masas acoplado inductivamente para medir Hg, se utiliza el método LMP para	no	no	si	no	Alta
Exposición elevada de Hg en el útero y sobrepeso u obesidad al nacer. Wang, G., et al. (2019)	cohorte prospectiva	se selecciona la población cuidadosamente siguiendo criterios de inclusión y exclusión	N=1442	los procedimientos analíticos siguieron controles estándares para el aseguramiento de la calidad, se utilizó cuestionario certificado	no	no	si	no	Alta
niveles de Hg al final del embarazo y comportamiento autista. Ryu, J., et al. (2017)	cohorte longitudinal prospectivo	se controla sesgo de memoria y selección de participantes	N=458	análisis de laboratorio se realizaron de acuerdo con procedimientos estandarizados de control de calidad.	no	no	si	no	alta

parto prematuro y espontáneo, Hg en sangre. Ashrap, P., et al. (2020)	cohorte prospectiva	se controla sesgo de selección mediante criterios de inclusión	N=812	utiliza estándares de calidad, como la calibración del equipo ICP-MS	no	no	si	no	alta
prevalencia de problemas respiratorios en niños debido al Hg. Carrasco, P., et al (2021)	transversal	la población se selecciona con varios filtros y criterios de inclusión y exclusión	N=1347	la precisión del método se verifico externamente en varios ejercicios Inter laboratorios en New York y Quebec	no	no	si	no	alta

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 8. Validez de artículos relacionados con enfermedades relacionadas al mercurio en población general

Nombre del artículo	Tipo de diseño	Validez		Precisión	GRADE					
		Interna	Externa		1	2	3	4	Puntuación	
Defectos en el tubo neural. Jin., L et al (2016)	transversal casos y controles	para factores fusores	evitar con los	N=130	para controlar la calidad, se usaron muestras duplicadas, mate-	si	no	si	no	media

		casos fueron seleccionados al azar		riales de referencia certificados (TORT-2, NRCC, Canadá), y el R2> 0,999.						
Síndrome del espectro autista. Nabgha-e-Amen et al. (2020)	retrospectivo de casos y controles	selección de población tomando el consentimiento informado de padres, se emparejan controles por edad y sexo	N=166	se utiliza ICP-MS con protocolo ya establecido		si	no	si	no	media
Hipercolesteremia. Cho et al. (2020)	transversal prospectivo	se usan criterios de exclusión para controlar los sesgos de confusión y selección	N=1890 adolescentes	Para el aseguramiento del control de calidad se usan materiales de referencia certificados, y se usa reglas de Westgard para controlar la idoneidad de pruebas analíticas		no	no	si	no	alta

Diabetes tipo 2 y glucosa en ayunas alterada. Jeppesen C., et al. (2015)	Transversal	selección usando criterios de inclusión y exclusión	N=2640	se usan cuestionarios validados	no	no	si	no	Alta
mercurio en tejido placentario bioindicador de defectos en el tubo neuronal. Tong et al (2021)	Transversal prospectivo de casos y controles	se controlan sesgos subjetivos del experimentador usando métodos analíticos para control de calidad	N=1001	muestras duplicadas, materiales de referencia certificados	no	no	si	no	Alta
El mercurio total en sangre se asoció de forma no lineal con la infertilidad. Zhu et al. (2020)	Transversal	se controla el sesgo de selección	N=1796	se sigue método de NHANES, para la analítica de las muestras, y se hacen análisis de sensibilidad para garantizar solidez	no	no	si	no	Alta

Deterioro cognitivo en adultos mayores. Geier, D., et al. (2019)	transversal de casos y controles	se controlan los sesgos	N=1.821.663	se usa método SAS para windows, versión 9.4 (Cary, NC, EE. UU), y una población relativamente grande que favorece la precisión	no	no	si	no	Alta
Enfermedades respiratorias. Koh et al. (2019)	Transversal	se controló los sesgos ajustando variables de confusión en los resultados	N=16 089	se usó la encuesta de KNHANES, la cual contiene datos nacionales, lo cual favorece la precisión de los resultados, y se analizaron los datos de la encuesta mediante un método de análisis complejo	no	no	no	no	media
Asociación débil con diabetes. Zhang, J., et al. (2021)	Transversal	se controló sesgos	N=30994	se usan datos de NHANES de 2015 a 2018, el gran numero poblacional, favorece la preci-	no	no	no	no	media

sión, se siguen protocolos de garantía y control de la calidad de NHA-NES, y se hacen análisis de sensibilidad

Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 9. Validez de artículos relacionados con la sintomatología aguda y crónica por exposiciones a mercurio

Autor del artículo	Tipo de diseño	Validez		Precisión
		Interna	Externa	
Atti et al. (2019)	experimental: caso de reporte	existe el sesgo de experimentador	3 casos	se obtienen muestras de Hg en sangre en orina y se tratan con quelación de succimer
Onwuzuligbo et al. (2018)	experimental: caso de reporte	existe el sesgo de experimentador	1 caso	se diagnostica con intoxicación después de hacer pruebas de laboratorio de sangre y encontrar Hg, se trata con quelación de succimer
Czolgosz, T., et al (2015)	experimental: caso de reporte	existe el sesgo de experimentador	1 caso	se diagnostica con intoxicación después de hacer pruebas de laboratorio de sangre y encontrar Hg, se trata con quelación
Young, A., et al. (2020).	experimental: caso de reporte	existe el sesgo de experimentador	3 casos	se analizó la sangre y la orina para determinar la intoxicación

Jin Yan, M et al. (2019)	experimental: caso de reporte	existe el sesgo de experimentador	2	análisis por medio de Hg en sangre
Magnavita N., et al. (2020).	Observacional	existe el sesgo de experimentador	1	análisis por medio de THg urinario
Philibert, A., et al. (2020)	longitudinal de casos y controles retrospectivo	se controlan los sesgos de selección	657	se usan métodos estadísticos sofisticados para el análisis de los datos como, por ejemplo: Mann-Whitney, Kolmogorov-Smirnov, Cramér-von Mises, series de tiempo interrumpido (ITSA)

Fuente: Elaboración propia, 2022.