



**Revisión de alcance sobre alteraciones sobre el desarrollo neuropsicológico y los trastornos de la conducta en población ocupacional y ambientalmente expuesta a metales pesados – 2010-2020**

**Investigadores principales**

**Lorena Bejarano Acosta**

**Yesika Hurtado González**

**Trabajo presentado como requisito para optar por el**

**Título de magister en salud y seguridad en el trabajo**

**Universidad del Rosario**

**Bogotá, 2022**



**Revisión de alcance sobre alteraciones sobre el desarrollo neuropsicológico y los trastornos de la conducta en población ocupacional y ambientalmente expuesta a metales pesados – 2010-2020**

**Lorena Bejarano Acosta  
Yesika Hurtado González**

**Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud  
Universidad del Rosario**

**Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo**

**Dra. Marcela Varona**

**Bogotá, 2022**

## Resumen:

**Introducción:** El mercurio y el plomo son sustancias químicas que desencadenan alteraciones del desarrollo neuropsicológico y trastornos de la conducta en población expuesta. Dentro de estas alteraciones se pueden citar disminución de la productividad, pérdida de la memoria, debilidad muscular, depresión mental y temblor fino, además de trastornos psíquicos, entre otros.

**Objetivo:** Realizar una revisión de alcance de la literatura sobre las alteraciones neuropsicológicas y trastornos de la conducta en población ocupacional y ambientalmente expuestas a metales pesados plomo y mercurio para el periodo 2010-2020.

**Metodología:** Para el desarrollo de la búsqueda se utilizó descriptores de la salud empleando términos MeSH, Emtree y términos libres. La cadena de búsqueda se ingresó a las bases de datos (pubmed, scielo, redalyc, ScienceDirect, google académico y EBSCO) y se seleccionaron artículos en idiomas inglés y español publicados entre los años 2010-2020 y que tuvieran disponibilidad de lectura de texto completo.

**Resultados:** Se seleccionaron un total de 12 artículos para análisis de lectura completa. Con relación al plomo, el Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria de la (OMS) en el año 2019 estimó que la exposición a este metal causó 900.000 defunciones y la pérdida de 21,7 millones de años de vida sana (años de vida ajustados en función de la discapacidad, o AVAD) en todo el mundo debido a sus efectos a largo plazo en la salud. La mayor carga corresponde a los países de ingresos bajos y medianos. Además, estimó que la exposición al plomo ocasionó el 62,5% de la carga mundial de alteraciones del desarrollo intelectual sin causa evidente. La inhalación de vapor de mercurio puede afectar el sistema nervioso causando irritabilidad, tristeza, ansiedad, insomnio, debilidad muscular, pérdida de memoria, susceptibilidad emocional, hiperexcitabilidad o depresión en individuos expuestos y en los niños, déficit en las capacidades sensoriales, cognitivas y psicológicas.

**Conclusión:** los metales pesados como el plomo y el mercurio pueden desencadenar diversas alteraciones del desarrollo neuropsicológico y trastornos de la conducta como pérdida de memoria, cambios bruscos en el estado de ánimo, alteraciones comportamentales entre otros, por exposición prolongada poblaciones expuestas.

**Palabras claves:** alteraciones neuropsicológicas, metales pesados, mercurio, plomo, desarrollo neuropsicológico, trastornos de la conducta, perfil neuropsicológico.

**Summary:** Mercury and lead are chemical substances that trigger neuropsychological development alterations and behavioral disorders in the exposed population. These alterations include decreased productivity, memory loss, muscle weakness, mental depression and fine tremor, as well as mental disorders, among others.

**Keywords:** neuropsychological disorders, heavy metals, mercury, lead, neuropsychological development, behavioral disorders, neuropsychological profile.

## INTRODUCCIÓN

Colombia, así como otros países a nivel mundial, reconocen como una problemática de salud pública, la afectación neuropsicológica y de la conducta, por la exposición al plomo y el mercurio, lo que ha llevado a que en los últimos años se han realizado diversas investigaciones.

Los metales pesados son ambientalmente tóxicos peligrosos. Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, por lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos de tiempo, ya que su degradación natural es difícil (1), son una de las sustancias tóxicas más antiguas que haya conocido el ser humano, la toxicidad de algunos de ellos, tales como plomo y mercurio, ha sido estudiada desde hace muchos años, a diferencia de otros metales (2). Existen efectos adversos en la salud humana debido al uso de los metales pesados, a pesar de los numerosos esfuerzos por disminuir la contaminación ambiental, la exposición continua, y los niveles de emisiones continúan incrementándose en algunos lugares del mundo en particular en ciudades en vías de desarrollo (2).

El plomo es un metal blando, gris azulado, estable y resistente a la corrosión, que existe de manera natural y es empleado ampliamente en la industria. Produce efectos en los sistemas nervioso central, hematopoyético, cardiovascular, gastrointestinal, renal y neuromuscular (3).

Es un metal ampliamente utilizado por su ductilidad, alta densidad y poca reactividad química, así como su fácil extracción, relativa abundancia y bajo costo. Este metal existe en forma inorgánica y orgánica y se encuentra en el ambiente de forma natural.

La acción negativa de estos metales sobre la salud es ocasionada al menos por dos vías, transporte medio-ambiente en el aire, agua, polvo y comida, la segunda por ser usada en diferentes industrias (2). Numerosos procesos de origen antropogénico movilizan al plomo dentro del ambiente haciendo que permanezcan durante un cierto tiempo suspendidos en el aire dispersándose para finalmente, caer sobre el suelo, cursos de agua, la vegetación, la fauna y poblaciones de los alrededores.

Durante el último siglo, las emisiones de plomo al aire ambiental han aumentado en un 50%, una de sus fuentes principal proviene de la gasolina, hasta hace pocas décadas, las emisiones de plomo han empezado a disminuir, gracias a la introducción de la gasolina libre de plomo en países desarrollados, proviene también de las industrias tales como pulido y refinado de metales, pinturas con plomo, base de colorantes, antioxidantes, barnices y esmaltes para cerámicas (4). Se pueden encontrar altos niveles de emisiones de plomo en áreas cercanas a minas y empresas metalúrgicas. (5)

La mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El mayor incremento ocurrió entre los años 1950 y 2000 y reflejó el aumento del uso de gasolina con plomo en todo el mundo (6).

La naturaleza de las manifestaciones de toxicidad depende no sólo de la magnitud de la exposición sino también de las características propias de la persona expuesta; la neurotoxicidad del plomo es más crítica para los niños y los trabajadores de las industrias minera y

metalúrgica, y de los productores de pinturas y aquellos que se dedican al reciclaje de baterías. Otro grupo de riesgo son las familias que habitan en las áreas donde se asientan dichas industrias (7). El plomo es absorbido por inhalación, por ingestión y a través de la piel, siendo las principales vías de ingreso para los compuestos inorgánicos la inhalatoria y la oral y para los orgánicos, la piel. Para los trabajadores expuestos la principal vía de ingreso es la inhalatoria. El mecanismo tóxico del plomo está dado por varias modalidades: compite con los metales esenciales especialmente el calcio y el zinc en sus sitios de inserción, tiene afinidad por los grupos sulfhidrilos de las proteínas, lo que significa alteración de la forma y de la función de ellas y altera el transporte de iones esenciales. En el sistema hematopoyético el plomo interfiere también con la vía de la síntesis del grupo heme (8). Por medio de este mecanismo afecta las proteínas transportadoras para metales, canales iónicos, proteínas de adhesión celular, diversas enzimas metabólicas y proteínas de unión al ADN, entre otros blancos moleculares (8).

Los canales iónicos de la membrana celular representan uno de los blancos moleculares de mayor importancia patogénica para el plomo, ya que de ellos depende el funcionamiento celular coordinado y podrían ser el origen de varios de los trastornos neuropsicológicos presentes en las intoxicaciones por plomo. Este metal afecta la activación, conductancia y regulación de distintos canales iónicos de manera directa o indirecta, siendo los canales de calcio y potasio dos de los más afectados (9).

Asimismo, el funcionamiento anormal de proteínas reguladoras intracelulares como la calmodulina, proteína cinasa C y sinaptotagminas provoca que los efectos tóxicos del plomo se extiendan a un amplio sector de la maquinaria molecular de la célula (10).

Estas reacciones moleculares pueden contribuir a desencadenar efectos sobre la función cerebral y la de otros sistemas del organismo (11).

La exposición a plomo provoca importantes efectos neurológicos como, problemas de aprendizaje, déficit de coeficiente intelectual y de atención, impulsividad, e hiperactividad entre otros (3).

Los síntomas en intoxicación aguda corresponden a cefalea, irritabilidad, dolor abdominal, insuficiencia renal aguda y encefalopatía. La intoxicación crónica produce irritabilidad, cefalea, somnolencia, disminución de la atención y de la memoria, confusión, déficit mental y convulsiones.

La neuropatía periférica en adultos inicia con debilidad y pérdida de la fuerza muscular comprometiendo los músculos extensores de miembros superiores e inferiores y se acompaña de mialgias, calambres y parestesias.

Otro de los metales pesados es el mercurio es un elemento metálico líquido a temperatura ambiente. Tiene un brillo plateado y es altamente volátil.

Tiene un origen magmático y puede encontrarse en la naturaleza en tres formas primarias: mercurio elemental, compuestos inorgánicos y en forma de mercurio orgánico. Este metal se absorbe por tres vías: respiratoria, cutánea y digestiva. Aunque las personas pueden verse expuestas a cualquiera de las formas de mercurio en diversas circunstancias, las principales vías de exposición son el consumo de pescado y mariscos contaminado con metilmercurio (compuestos orgánicos) y la inhalación para los compuestos inorgánicos, de vapores de mercurio elemental desprendidos en procesos industriales (12), por lo que a nivel ocupacional esta es la vía principal de exposición (13). Se calcula que existen unas 3.000 aplicaciones

distintas de este metal, las más conocidas son: la minería la cual incluye el proceso de extracción del mercurio y su posterior procesamiento (11).

Este tipo de exposición se encuentra en las industrias dedicadas a la fabricación de termómetros, barómetros, así como en las minas para la extracción de oro y refinerías de metales como el zinc.

La toxicidad que se puede presentar por mercurio depende de la fase química en la que se encuentre y de la vía de absorción. El metilmercurio es una de las formas que presentan elevada toxicidad y es fácilmente incorporado en la cadena alimenticia y bio-acumulado en los seres vivos. Afecta principalmente al sistema nervioso central (14).

El mercurio elemental no es tóxico por vía digestiva, en cambio, la inhalación de sus vapores metálicos produce lesiones bronquiales y encefalopatía. Las sales de mercurio orgánicas e inorgánicas son potencialmente neurotóxicas y el bicloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ) es altamente nefrotóxico, con producción de necrosis tubular aguda (15).

El cerebro es el órgano diana de la inhalación del mercurio elemental a diferencia de las sales de mercurio donde el órgano diana es el riñón. Es así que posee gran afinidad molecular con los grupos sulfhidrilos de las proteínas plasmáticas y por lo tanto, es capaz de inhibir gran cantidad de sistemas enzimáticos.

Inhibe la captación de glutamato por las células gliales, llevando un exceso de neurotransmisor a las conexiones sinápticas. Además, interviene en la supervivencia celular, generando la apoptosis neuronal (12).

La exposición crónica a las dosis clínicamente significativas de mercurio elemental y de compuestos inorgánicos produce generalmente la disfunción neurológica con disminución de la productividad, pérdida de la memoria, debilidad muscular, depresión mental y temblor fino. Se ha descrito también el eretismo mercurial, en el cual se observan severos cambios de comportamiento y personalidad, excitabilidad emocional, pérdida de memoria, insomnio, depresión, fatiga y en casos severos el delirio y alucinaciones (12, 16, 17).

El Instituto de Estados Unidos de la universidad de Washington ha estimado que, según datos de 2017, la exposición al plomo causó 1,06 millones de defunciones y la pérdida de 24,4 millones de años de vida ajustados en función de la discapacidad debido a sus efectos en la salud a largo plazo. La mayor carga corresponde a los países de ingresos bajos y medianos. Además, el Instituto estimó que, en 2016, la exposición al plomo ocasionó el 63,2% de los casos idiopáticos de insuficiencia del desarrollo intelectual, así como el 10,3%, el 5,6% y el 6,2% de la carga mundial de cardiopatía hipertensiva, cardiopatía isquémica y accidentes cerebrovasculares, respectivamente (12).

El Sistema de Vigilancia en Salud Pública del Instituto Nacional de Salud (Sivigila) reportó para el año 2020 con relación a intoxicaciones agudas por metales pesados, 76 personas intoxicadas, esto equivale a un total de 0.5% de casos reportados del total de intoxicaciones en todo el país (13).

Los casos reportados de intoxicación por mercurio entre el año 2013 y 2015 fueron en Antioquia 312, en Chocó 218, en Córdoba 206, en Bolívar 167 y en Sucre 143 casos. Por su parte, el municipio más impactado en este mismo periodo de tiempo, fue Ayapel en Córdoba con 139 registros, seguido por Cauca (Antioquia), con 125 registros (11% del país) y El Bagre (Antioquia), con 78 (7% del país). El plomo es otro de los metales que se encuentra asociado con unas 256,000 muertes prematuras por enfermedades cardiovasculares ocurridas en los E.E.U.U., incluido 185,000 muertes por cardiopatía isquémica, pueden estar vinculadas con la exposición histórica al plomo en grupos de adultos (13).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de alcance de la literatura sobre las alteraciones neuropsicológicas y trastornos de la conducta en población ocupacional y ambientalmente expuestas a metales pesados plomo y mercurio Para el desarrollo de la búsqueda se utilizaron descriptores de la salud empleando términos MeSH, Emtree y términos libres. La cadena de búsqueda se ingresó a las bases de datos Pubmed, Elsevier - clinicalkey, Scielo, Redalyc, ScienceDirect, Google académico y EBSCO. Se tuvo en cuenta la metodología PICO para la estructuración de la pregunta de investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Estrategia PICO para estructuración de pregunta de investigación.

PICO	DESCRIPCIÓN
P (población)	Población ocupacional y ambientalmente expuesta a metales pesados (plomo y mercurio).
I (intervención)	Exposición a metales pesados plomo y mercurio
C (comparación)	No se realiza comparación
O (resultado)	Alteraciones del desarrollo neuropsicológico y los trastornos de la conducta

Se establecieron los siguientes criterios de selección de los artículos a incluir: artículos disponibles en texto completo que se encontraban en los idiomas inglés y español, estudios dentro del rango de año de publicación de 2010 a 2020 y artículos nacionales e internacionales con población ambiental y laboralmente expuesta a mercurio y plomo.

Para el presente estudio se realizó un proceso de selección a través de la lectura de título y resumen y aplicación de criterios de elegibilidad. Aquellos que cumplieron los criterios de



inclusión fueron organizados en una matriz diseñada en el programa Excel®, en la cual se consignaron tanto variables bibliométricas como conceptuales.

Las variables bibliométricas consideradas fueron: país de origen, términos de búsqueda, número de artículos encontrados, número de artículos seleccionados y razones por las cuales fueron excluidos los artículos. A partir de esto se llevará a cabo una primera depuración de aquellos artículos que no cumplan con los criterios establecidos anteriormente, leyendo el título y el resumen de estos documentos para realizar un primer filtro y poder continuar con la consolidación de la información. Las variables de análisis conceptual estudiadas fueron: edad, sexo, tiempo en el oficio (antigüedad), actividad laboral, exposiciones ambientales, alteraciones neuropsicológicas y trastornos de la conducta.

Posteriormente, se verificó la disponibilidad del material con disposición electrónica, definiendo si los artículos obtenidos tenían la relevancia con el objeto de la presente revisión de alcance. En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de la búsqueda de los artículos incluidos en el estudio.

### **CONSIDERACIONES ÉTICAS.**

Los proyectos de investigación en el campo de la salud humana deberán ajustarse a las “Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, establecidas en la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, considerando de manera especial la categoría de riesgo para los humanos que pueda generar la propuesta.

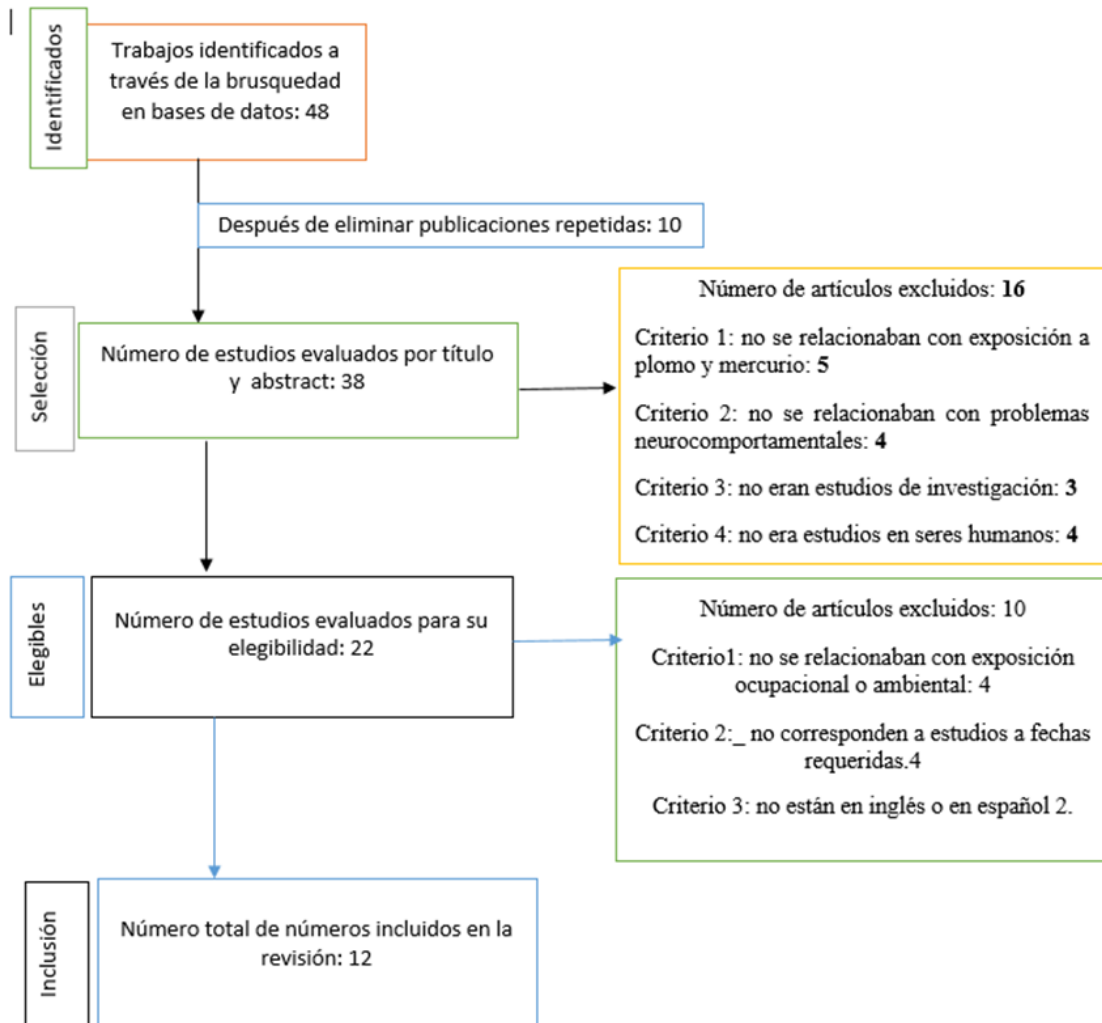
Igualmente, es necesario mencionar la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, en donde se explican los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Según la Resolución 8430 de 1993, Artículo 11, y la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial y para efectos de esta Según la Resolución 8430 de 1993, Artículo 11, y la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial y para efectos de esta investigación, se clasifica en la categoría Investigación sin Riesgo.

### **RESULTADOS**

Se encontraron un total de 48 artículos resultados de la cadena de búsqueda. Los resultados por bases de datos arrojaron un total de 8 estudios en Pubmed, 13 en Science Direct y 27 en Scielo y otras bases de datos. Se eliminaron los duplicados (10), quedando un total de 38 artículos para lectura de título y abstract, aplicando los criterios de inclusión mencionados anteriormente, quedaron un total de 12 artículos para análisis de lectura completa, de los cuales 3 pertenecían a Pubmed, 3 a la base de datos de Sciencedirect y 6 estudios en Scielo y otras bases de datos.

En el flujograma a continuación se muestran los resultados de la cadena de búsqueda.

**Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos.**



Los resultados se presentan de acuerdo con los objetivos específicos del estudio:

- **Caracterización sociodemográfica y laboral de la población ocupacional y ambientalmente expuesta al mercurio y plomo.**

Un estudio realizado por Osorio S. y cols en Bogotá en los años 2012 y 2013, sobre la prevalencia de mercurio y plomo en población general y los posibles efectos sobre la salud, incluyó 401 individuos de los cuales el 74,8 % eran mujeres (n=300) con un rango de edad de 3-91 años (media de 46,55 años, DE±16,14). Para los hombres el rango estuvo entre 3-83 años (media de 46,48, DE±17,98). La ocupación más frecuente fue ama de casa (45,1 %, n=181). El 52,1 % (n=209) pertenecían al régimen contributivo, y el 36,4 % al subsidiado (n=146) (18).

En el año 2018 en Colombia, Díaz S. y cols realizaron un estudio multi-método sobre la exposición al plomo y mercurio en poblaciones de la ribera del río Bogotá. Los métodos etnográficos permitieron identificar que en este estudio participaron 172 individuos de los municipios de Agua de Dios (25), Girardot (71), Ricaurte (26) y Tocaima (50), la mayoría de

mujeres con un amplio rango de edad, (1-62) (Agua de Dios: mediana: 29, rango: 7-62, Girardot: mediana: 32, rango: 2-58, Ricaurte: mediana: 34, rango: 8-53 y Tocaima: mediana: 32,5, rango: 1-65). La escolaridad era baja reportando sin estudios 12,0% en Agua de Dios, 16,9% para Girardot, 3,9% para Ricaurte y Tocaima con un 12,0%, la mayoría se encontraban afiliados al régimen subsidiado (92,0% 91,6% 84,6% y 90,0% respectivamente). Dentro de las actividades con exposición a metales pesados el 20,0% de Agua de Dios y Tocaima y el 22,5% de Girardot refirieron llevarlas a cabo. Se dedicaban a actividades del hogar el 64,0% en Agua de Dios, el 71,8% de Girardot, en Ricaurte el 65,4% y 50,0% en Tocaima. Realizaban otras ocupaciones extradomiciliarias (incluye actividades de mecánica, carpintería, pintura, vitrales y cerámica) el 28,0%, 1,4%, 15,4%, 18,0% de cada municipio respectivamente. Se reportó también exposición ocupacional al agua del río en Tocaima y Girardot, ya que laboraban como jornaleros, ganaderos y agricultores (19).

Cassio dos Santos L. y cols en el 2020 en Brasil, realizaron un estudio de efectos neuropsicológicos de la exposición al mercurio en niños y adolescentes de la Amazonía, donde evaluaron a 263 niños y adolescentes de 6 a 14 años, de los cuales 150 eran mujeres (57%). Los voluntarios participantes pertenecían al sistema de educación pública local y estatal y asistían del 1º al 9º grado. En cuanto al peso y la prematuridad, la mayoría de los niños (N = 218) nacieron dentro del rango de peso esperado; 32 madres de los niños evaluados no conocían el peso al nacer; y 13 niños nacieron con bajo peso al nacer. En cuanto a la prematuridad, 9 niños nacieron prematuros y 12 de las madres no conocían esta información.

La edad media de las madres fue de 36,8 años, la mayoría de ellos reportaron vivir en la comunidad de origen entre 1 y 10 años (73,4%). En cuanto a la escolaridad de la madre, el 78,3% asistió a la escuela primaria. Cabe mencionar que, de ese grupo, el 49,5% asistió solo entre 1º y 5º grado. Con respecto al ingreso familiar, el 38,5% de las madres de la población de estudio ganaba menos o igual al salario mínimo mensual fijado por el gobierno brasileño (US \$ 239,97), mientras que el 55,3% de ellas ganaba entre uno y tres (hasta EE.UU. \$ 719.91) salario mínimo por familia. (21).

Morris y cols en el 2016 realizaron un estudio de cohorte sobre asociación entre el consumo de mariscos, el nivel de mercurio cerebral y el estado de la apolipoproteína E (APOE ε4) con neuropatología cerebral en adultos mayores entre el 2004 y el 2013. El estudio incluyó 286 cerebros autopsiados de 554 participantes fallecidos (51,6%). La edad media al morir fue de 89,9 (DE: 6,1) años, el 67 % (193) eran mujeres y el nivel educativo medio fue de 14,6 (DE: 2,7) años (24).

Los investigadores Tatsuta N. y cols en 2017 llevaron a cabo una investigación en el área costera de Sanriku en el distrito de Tohoku de Japón cuya dieta se basaba en el consumo de pescado. Los criterios de elegibilidad incluyeron un embarazo único, japonés como lengua materna y recién nacidos a término (36-42 semanas de gestación) con un peso al nacer de más de 2.400 gramos y sin anomalías congénitas o enfermedades obvias. La información sobre el embarazo, el parto y las características del recién nacido se obtuvo de los registros médicos. Se registraron 749 pares de madres e hijos en los años 2003-2006 de acuerdo con los criterios de elegibilidad. (25).

Reuben A. y cols realizaron un estudio sobre los niveles elevados de mercurio en el cabello asociados con déficits del neurodesarrollo en niños que viven cerca de minas de oro artesanal

en Perú (26). La evaluación del desarrollo neurológico se realizó en niños en edad escolar. Doscientos doce niños de 14 comunidades eran elegibles a priori (de 5 a 12 años) y proporcionaron una muestra de mercurio en el cabello al inicio del estudio. Se recopilieron datos de 164 niños de entre 5 y 12 años (edad media = 8,0, DE = 2,0), que representaron el 77% de los elegibles (26).

Hsu Y. y cols en 2016 realizaron un estudio sobre el impacto de la amalgama dental en el desarrollo de la enfermedad de Parkinson (EP). Se incluyeron pacientes con empastes de amalgama restaurados entre 2000 y 2008 utilizando la base de datos del Instituto Nacional de Salud (NHIRD) en Taiwán. El mismo número de pacientes a los que no se les restauró un nuevo empaste de amalgama se comparó por sexo, edad y fecha de tratamiento. Ambas cohortes fueron seguidas desde la fecha del tratamiento hasta la fecha del diagnóstico de la EP, la muerte o el final del año 2008. Para mejorar la precisión diagnóstica y excluir el parkinsonismo secundario, se excluyeron los pacientes que tenían un diagnóstico de demencia, enfermedades cerebrovasculares, traumatismo craneoencefálico o trastornos psicóticos en el momento o 1 año antes del diagnóstico de EP. Un total de 20.740 pacientes fueron incluidos, de los cuales 10,236 tenían empastes de amalgama restaurados y el mismo número sin empastes restaurados (27).

Cuesta y cols en el 2019 realizaron un estudio donde buscaron determinar el impacto percibido en la salud de los mineros artesanales en Colombia, en el que se seleccionaron 28 mineros: 24 de ellos con exposición únicamente al mercurio, 2 con exposición directa al cianuro y 2 con exposición al cianuro y mercurio simultáneamente. El 96% de los mineros pertenecía al sexo masculino y solo un 4% al sexo femenino, el 89% se encontraba entre los 27 y los 57 años; el 7% entre los 60 años y más y el 4% entre los 14 y 26 años. El 43% cursó primaria y secundaria incompleta; el 32%, primaria y secundaria completa; el 11% no tenía estudios y solo el 14% culminó estudios técnicos. El 93% es cabeza del hogar y el 7% no lo es (28).

Narváez M y cols, en el 2018 realizaron un estudio sobre intoxicaciones por plomo y los efectos neurocomportamentales en carpinteros, en México, tuvieron una muestra de 30 carpinteros, 80% de ellos informaron no tener conocimiento claro sobre los factores de riesgo a los que están expuestos y el 100% de la población fueron hombres (29).

- **Identificar los niveles de mercurio y plomo en población ocupacional y ambientalmente expuesta.**

Osorio S. y cols en Bogotá en los años 2012 y 2013 en el estudio sobre la prevalencia de mercurio y plomo en población general y los posibles efectos en salud, en el cual participaron 401 individuos, encontraron niveles de mercurio en pelo en el 99,2 % (n=398) y de plomo en sangre en el 96,3 % (n=386). Se observó que las concentraciones de mercurio aumentaron en cada biomarcador a medida que el consumo de pescado era mayor. Se encontraron promedios de plomo en sangre superiores a 10 µg/dL en las localidades de San Cristóbal, Usme, Antonio Nariño, Puente Aranda, Kennedy y Rafael Uribe Uribe (18).

En este estudio se tuvieron en cuenta valores de referencias nacionales e internacionales para evaluar los resultados de mercurio y plomo en muestras biológicas. Ocho sujetos (2,0 %) tuvieron concentraciones de mercurio superiores a los valores de referencia del Instituto Nacional de Salud (INS), sin embargo, el número aumenta a 54 (13,5 %) si se tienen en cuenta los valores de referencia internacionales. El 13.5 % de los participantes del estudio presentaron

concentraciones de plomo y mercurio superiores a los valores de referencia tanto nacional como internacional. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido “niveles de referencia” de mercurio en población general: 20  $\mu\text{g/L}$  en orina, 10  $\mu\text{g/L}$  en sangre, y 2  $\mu\text{g/g}$  en cabello; el CDC (Centro para el Control de Enfermedades de Atlanta) ha establecido para plomo en sangre: 10  $\mu\text{g/dL}$  en menores de 15 años, 38  $\mu\text{g/dL}$  en individuos de 15 años o más. El Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS) ha establecido: mercurio: 50  $\mu\text{g/L}$  en orina, 20  $\mu\text{g/L}$  en sangre, y 5  $\mu\text{g/g}$  en cabello; para plomo los niveles son idénticos a los del CDC (18).

Palma M y cols 2018 realizaron un estudio en niños y adolescentes expuestos ambientalmente a mercurio en Colombia, donde los valores de referencia utilizados fueron (5  $\mu\text{g/L}$  en sangre total, 1  $\mu\text{g/g}$  de cabello) reportados por OMS. También se recolectaron muestras de pescado de las especies más consumidas en cada municipio, estas se procesaron por espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío (CVAAS). Los valores de referencia utilizados fueron de 0.5 mg/kg para especies no carnívoras y de 1 mg/kg para especies carnívoras (20).

Las concentraciones promedio de mercurio encontradas en este estudio en sangre no fueron estadísticamente significativas entre niños y adolescentes, según la prueba U de Mann-Whitney ( $p= 0.41$ ); esto mismo sucedió con las concentraciones promedio de mercurio en cabello ( $p=0.94$ ) (20).

Dos Santos C y cols en 2020 en Brasil, realizaron un estudio sobre los efectos neuropsicológicos de la exposición al mercurio en niños y adolescentes de la Amazonía donde evaluaron a 263 niños. La mediana de Hg total en cabello fue de 2,05  $\mu\text{g} / \text{g}$  con un rango entre 0,05 y 21,75  $\mu\text{g} / \text{g}$ . No se observaron diferencias de grupo significativas en los niveles de Hg total por sexo y edad. Con base en la división por cuartiles, los participantes se agruparon para un análisis adicional de acuerdo con los niveles de Hg total así: Q1 - cuartil inferior (0.05 - 0.91  $\mu\text{g} / \text{g}$ ); Q2 - cuartil medio inferior (0,92 - 2,04  $\mu\text{g} / \text{g}$ ), Q3 - media del cuartil medio superior (2,05 - 4,02  $\mu\text{g} / \text{g}$ ) y Q4 - cuartil superior (4,03 - 21,75  $\mu\text{g} / \text{g}$ ) (21).

Ibarluzea J y cols en el 2012 estudiaron los compuestos orgánicos persistentes y metales pesados en sangre y efectos en el desarrollo neuropsicológico de la primera infancia, Los contaminantes (COP) más frecuentemente encontrados fueron p, p'-DDE (99%) y PCB 153 (95%) con media geométrica en suero (ng / g-lípido) de 110,0 (p, p'-DDE) y 38,9 (PCB 153). Se analizaron los valores de plomo (Pb) y de mercurio total (Hg) para revisar si tenían asociación con el desarrollo neuropsicológico. Los niveles medio y máximo de Pb encontrados fueron 1,06  $\mu\text{g} / \text{dL}$  y 19  $\mu\text{g} / \text{dL}$ , respectivamente. La media de Hg fue de 8.2  $\mu\text{g} / \text{L}$ , siendo el consumo de peces la principal fuente de exposición. Los niveles de referencia de Hg establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) son de (6,4  $\mu\text{g} / \text{L}$ ), el 64% de las muestras superaron estos niveles de referencia (23).

En el estudio realizado por Tatsuta N. y cols sobre habilidad psicomotora en niños expuestos prenatalmente al metilmercurio en 566 parejas madre-hijo que viven en la zona costera, la concentración media de Hg total (THg) en el cabello materno fue de 2,5  $\mu\text{g} / \text{g}$  (rango, 0,3-11,0  $\mu\text{g} / \text{g}$ ) y el nivel medio de THg (mercurio total) en sangre del cordón umbilical fue de 15,7 (rango, 2,7-96,1) ng/g. La correlación entre la THg del cabello materno y la THg de la sangre del cordón umbilical fue estadísticamente significativa (coeficiente de correlación de Spearman = 0,858). La ingesta semanal tolerable (TWI) de metilmercurio fue 2,0  $\mu\text{g} / \text{kg}$  de peso corporal

/ semana para mujeres embarazadas fue propuesta por la Comisión de Seguridad Alimentaria de Japón (2005), y el 18,2% de los participantes de este estudio superó el TWI, mientras que solo el 12,5% de los participantes urbanos lo hicieron. El Índice de Desarrollo Psicomotor (PDI) de BSID-II se correlacionó significativamente con la THg de la sangre del cordón umbilical solo en los niños, y la importancia de la asociación se mantuvo sin cambios después de ajustar por posibles factores de confusión; es decir, un aumento de 10 veces en la THg en sangre del cordón se asoció con una disminución de 8,3 puntos en la puntuación del PDI. En conclusión, la exposición al metilmercurio intrauterino puede afectar el desarrollo psicomotor y los niños parecen ser más vulnerables a la exposición que las niñas (25).

Reuben A y cols llevaron a cabo un estudio sobre los niveles elevados de mercurio en el cabello asociados con déficits del neurodesarrollo en niños que viven cerca de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Perú, donde la exposición infantil al mercurio se evaluó mediante la medición del contenido total de mercurio en el cabello. El límite inferior de cuantificación fue 1 ng de mercurio total (aproximadamente 0,05  $\mu\text{g} / \text{g}$  en el cabello). El contenido total de mercurio en el cabello se midió como  $\mu\text{g} / \text{g}$  de cabello (26).

Los niveles totales de mercurio en el cabello se midieron en 164 niños de 5 a 12 años que vivían en Madre de Dios, Perú. El nivel medio (DE) de mercurio en el cabello fue de 2,06 (2,43)  $\mu\text{g}/\text{g}$ . Cincuenta y cuatro niños (32,9 %) tenían niveles de mercurio en el cabello por encima del nivel de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 2,0  $\mu\text{g}/\text{g}$ . (26).

Hsu Y-C, et al, a través de un estudio de cohorte retrospectivo de 9 años en Taiwán, observaron que los pacientes ancianos expuestos a empastes de amalgama dental tenían 1.583 (cociente de riesgo ajustado [HR] = 1.583, IC 95% = 1.122–2.234) veces más probabilidades de tener enfermedad de Parkinson (EP) en comparación con sus homólogos no expuestos, mostrando una incidencia significativamente mayor de posibles comorbilidades, incluyendo diabetes, hipertensión, hiperlipidemia y enfermedad cardiovascular. El diagnóstico de diabetes o hiperlipidemia demostró una HR significativamente menor para el diagnóstico de EP al ajustar por covariables (HR = 0.449, IC 95%; 0.254–0.794, p = 0.0059; HR = 0.445, IC 95%; 0.260–0.763, p = 0.0032). Mientras tanto, la hipertensión arterial aumentó el riesgo de la EP (HR = 1.645, IC 95%; 1.098–2.464, p = 0.0159) (27).

Cuesta y cols, realizaron un estudio en trabajadores donde presentaron niveles de concentración de mercurio en la sangre entre 4 y 4,9 microgramos por litro ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) (28)

Narváez M y cols, en un estudio sobre Intoxicación por plomo y efectos neurocomportamentales donde se evidenciaron niveles de plomo en la sangre de 8,62  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (29).

- **Describir la prevalencia y las alteraciones neuropsicológicas y los trastornos de la conducta en población ambientalmente expuesta al mercurio y plomo.**

Un estudio realizado por Osorio S y cols en Bogotá en los años 2012 y 2013, reportó que los hallazgos clínicos más frecuentes en individuos con concentraciones elevadas de mercurio en alguno de los biomarcadores fueron: pérdida de memoria 79,6 % (n=43), temblor 46,3 % (n=25), y problema de atención 25,9 % (n=14); para individuos con plomo en sangre elevado

se reportó: pérdida de memoria (70 % n=7), temblor (30 %, n=3), y problemas de atención (20 %, n=2) (18).

Díaz S y cols en el estudio realizado en las riberas del río Bogotá durante el año 2018, encontraron que los individuos con valores de Protoporfirina de zinc (ZPP) que están relacionados con la exposición al plomo, en el auto-reporte se relacionan con síntomas de depresión, mientras que los niveles de Hg en sangre, darían cuenta de manifestaciones clínicas como sudoración y desorientación (19).

Morris y cols en 2016 en el estudio de cohorte sobre asociación entre el consumo de mariscos, el nivel de mercurio cerebral y el estado de la apolipoproteína E (APOE  $\epsilon$ 4) con neuropatología cerebral en adultos mayores encontraron que los niveles de mercurio en cerebro se correlacionaron positivamente con el número de comidas de mariscos consumidas por semana ( $p = 0.16$ ). En los modelos ajustados por edad, sexo y educación el consumo de mariscos ( $\geq 1$  comida por semana) se correlacionó significativamente con una menor densidad de placas neuríticas ( $\beta = -0.69$  IC 95%,  $-1.34$  a  $-0.04$ ), ovillos neurofibrilares menos severos y generalizados ( $\beta = -0.77$  IC 95%,  $-1.52$  a  $-0.02$ ) y una enfermedad de Alzheimer definida neuropatológicamente más baja ( $\beta = -0.53$  IC 95%,  $-0.96$  a  $-0.10$ ) pero solo entre los que tenían apolipoproteína E (APOE  $\epsilon$ 4). Aunque el consumo de mariscos se correlacionó con los niveles de Hg en cerebro, las concentraciones más altas de este metal no se correlacionaron significativamente con la neuropatología cerebral (24).

Cuesta y cols, realizaron un estudio en trabajadores expuestos al mercurio donde se evidenció que los mineros son uno de los más afectados por este metal, ya que presentan síntomas como la pérdida de memoria, cefalea, insomnio, cambios de comportamiento, pérdida de visión y confusión. Los síntomas presentados están relacionados con el sistema nervioso (cefalea, temblores, cambios de comportamiento, depresión, entre otros), por lo que se logra ver el daño que el mercurio y el plomo puede causar a los trabajadores. Se puede ver que estos síntomas no son exclusivos de los mineros ya que personas cuyo trabajo estaba relacionado con el mercurio, pero no pertenecen a la rama de la minería, presentan también síntomas como pérdida de la memoria (28).

Narváez M y cols, en un estudio sobre intoxicación por plomo y efectos neuro conductuales en carpinteros en 2018 en Ecuador, determinaron que el 88% de estos presentaron afectaciones neuropsicológicas y de conducta como tristeza sin causa aparente, disminución de las destrezas y habilidades, cansancio y depresión; antes de la exposición indican que eran más dinámicos, activos, ágiles y rápidos. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles. Los órganos más sensibles al daño por la toxicidad en exposiciones agudas y crónicas a este metal son el sistema nervioso central y el sistema hematopoyético (29).

Palma M. y cols realizaron un estudio en niños y adolescentes entre 6 y 9 años expuestos ambientalmente al mercurio en Colombia, donde se pudo observar una alta frecuencia de consumo de pescado. Los niños son más sensibles a exposiciones ambientales por tener frecuencia respiratoria más rápida, superficie pulmonar más grande, tener una estatura menor que los adultos y realizar actividades como gatear o jugar en el suelo, donde las concentraciones de vapor de mercurio son más altas. El 6,3% de los niños y el 29,7% de los adolescentes, excedieron el límite permisible de mercurio en sangre y el 50,8% de los niños y el 46,0% de

los adolescentes excedieron el límite permisible en cabello. En cuanto a los síntomas referenciados por los participantes, hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ), entre la población de niños y la de adolescentes en salivación excesiva (15,9%), caída del cabello (18,7%), insomnio (29,0%), nerviosismo (19,6%), debilidad (18,0%) y pérdida de memoria (17,3%), sabor metálico en la boca (8,4%), pérdida de peso (23,4%), temblor (21,5%), y problemas de concentración (17,9%) (20).

El mercurio produce estrés oxidativo en el sistema nervioso central y la conducción neural ocasionando una extrema afectación a nivel neurológico y neuro conductual en los niños, déficit en las capacidades sensoriales, cognitivas y psicológicas, lo que se refleja en puntajes y habilidades de memoria visoespacial y verbales más bajos en la escuela, inadecuado desarrollo de las funciones que intervienen en los procesos de aprendizaje y desempeño escolar, con afectaciones en su personalidad y en relaciones sociales. Los efectos tóxicos del mercurio, dependen de la exposición, en tiempo, cantidad, frecuencias, aunque se ha descrito una marcada variabilidad de la respuesta personal al mercurio, entre los diferentes grupos de población (20).

Reuben A y cols indican que las alteraciones que se evidenciaron en la investigación sobre los niveles elevados de mercurio en el cabello y la asociación con déficits del neurodesarrollo en niños que viven cerca de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Perú, fueron daño en la integración visual - motora (capacidad de un niño para interpretar información visual, dirigir movimientos coordinados e integrar estos dos procesos), la cual se evaluó mediante la prueba de desarrollo de integración visual - motora Beery VMI, sexta edición (Beery & Beery, 2004), en la cual se pide a los niños que reproduzcan dibujos cada vez más complejos, con las reproducciones puntuadas por su precisión. Se midió además la capacidad cognitiva utilizando la Batería III Woodcock - Munoz (Woodcock et al., 2001). Esta batería mide la capacidad intelectual general, las capacidades cognitivas amplias y limitadas y los aspectos del funcionamiento ejecutivo.

Los resultados mostraron que después de controlar el sexo, la edad del niño, la educación de la madre y el nivel socioeconómico familiar, cada aumento de una unidad en el nivel logarítmico de mercurio en el cabello se asoció con una disminución de 1,01 unidades en la integración visomotora (IC del 95%:  $-2,06$   $0,05$ ,  $p = 0,061$ ), una disminución de 2,59 unidades en la capacidad cognitiva general (IC del 95%:  $-4,52$ ,  $-0,66$ ,  $p = 0,012$ ) y una disminución de 2,43 unidades en la salud física (IC del 95%:  $-5,34$ ,  $0,49$ ,  $p = 0,096$ ) Después del ajuste por covariables, los niños con niveles de mercurio en el cabello que superaban el nivel de referencia de la Organización Mundial de la Salud obtuvieron 4,68 puntos de coeficiente intelectual más bajos en habilidad cognitiva que sus compañeros (26).

A continuación, se reportan los resultados más relevantes en la tabla siguiente:

No.	Título del artículo /autores	País/año	Tipo estudio	Tamaño muestra	Objetivo	Características /Población	Resultados
1	Mercury and lead prevalence in a sample of people living in Bogotá-Osorio S y cols.	Colombia , 2014	Estudio transverasal	La población objeto de estudio fue de 401 individuos de la población general de Bogotá, distribuida aleatoria y proporcionalmente según localidad y zonas de exposición ambiental de alto, medio y bajo riesgo.	Establecer la prevalencia de mercurio y plomo en la población general de Bogotá, posibles efectos en salud y relación con zonas de exposición ambiental.	Población general que residiera en las localidades de San Cristóbal, Usme, Antonio Nariño, Puente Aranda, Kennedy y Rafael Uribe Uribe. Sexo: mujeres y hombres. Se realizó valoración médica y cuantificación de plomo (sangre) y mercurio (sangre, cabello, orina). Se realizó análisis descriptivo preliminar.	Las concentraciones de mercurio en cabello: 1,00 µg/g, sangre: 3,13 µg/L, y orina: 0,29 µg/L; plomo en sangre en 8,62 µg/dL. Individuos con concentraciones superiores a los valores de referencia internacionales: 54 (13,5 %) para mercurio (OMS); 10 (2,5 %) para plomo (CDC). Los hallazgos clínicos son inespecíficos, las zonas de exposición no parecen relacionarse con las concentraciones encontradas.
2	Lead and mercury exposure in populations on the banks of the Bogotá River – Díaz s y cols.	Colombia ,2018	estudio multi-método	Los participantes de este estudio fueron 172 a los que se realizaron entrevistas, encuestas y mediciones de zinc protoporfirina (ZPP) y mercurio en sangre.	Comprender la problemática sanitaria asociada con la presencia de plomo y mercurio en el agua del río Bogotá.	Comunidades con exposición al agua del río como Agua de dios, Girardot, Ricaurte y Tocaima, quienes vivieran en estos municipios, con ocupaciones de hogar y que realizaran actividades extralaborales con	La contaminación del río se asocia con enfermedades, pese a que la exposición directa al agua no es frecuente. El agua del río es usada ampliamente para riego de cultivos que se venden en otros municipios Niveles de ZPP (ug/dL) para Agua de dios fue de 27 (18-42), Girardot 41(24-82), Ricaurte30,5 (19-70) y Tocaima 32 (17-70) con un

						metales pesados. Sexo: hombres y mujeres	Valor p de <0,001. Mercurio en sangre ug/dL 1(0-16) 3(0-18) 1(0-16) 2 (0-19) (p= 0,008)
3	Children and adolescents exposed environmentally to mercury in different municipalities in Colombia. Palma M y cols	Colombia, 2018	estudio descriptivo transversal	Un grupo de 63 niños y uno de 37 adolescentes de 11 municipios de Colombia.	Establecer la exposición ambiental a mercurio, para identificar el impacto sobre la salud de la población de niños y adolescentes en cuatro departamentos de Colombia.	edad entre 2 y 9 años y adolescentes entre 11 y 17 con una media de edad 9,4.	la media de concentraciones de mercurio en muestras biológicas se encontró que, para sangre, el municipio de Montelíbano presentó el mayor promedio con un valor de 22,5 ug/mL, seguido de Guaranda con 7,8 ug/mL y Buriticá con 5,1 ug/mL. Respecto de cabello, el municipio de Montelíbano fue el de más alto valor con 3,25 ug/g, seguido de San Marcos con 3,17 ug/g y Buriticá con 2,3 ug/g.
4	Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children and Adolescents of the Amazon Region, Brazil-  De Souza y cols.	Brazil, 2020	estudio transversal	263 participantes de 6 a 14 años, de las regiones de reasentamiento, cerca del río Madeira, Rondônia, Brasil. Para evaluar las funciones neuropsicológicas, de los cuales 150 eran mujeres (57%).	Investigar la relación entre la exposición al mercurio y las funciones neuropsicológicas en comunidades ribereñas de la Amazonía brasileña.	Niños y adolescentes que habitan en el río Amazonas brasileño para evaluar el desempeño neuropsicológico por exposición alta y baja a mercurio. Sexo. Masculino y femenino	La mediana de HgH total fue de 2,05 µg / g osciló entre 0,05 y 21,75 µg / g. No se observaron diferencias de grupo significativas en los niveles de HgH total por sexo y edad. Con base en la división por cuartiles, los participantes se agruparon para un análisis

							adicional de acuerdo con los niveles de HgH total: Q1 - cuartil inferior (0.05 - 0.91 µg / g); Q2 - cuartil medio inferior (0,92 - 2,04 µg / g), Q3 - media del cuartil medio superior (2,05 - 4,02 µg / g) y Q4 - cuartil superior (4,03 - 21,75 µg / g).
5	Levels of persistent organic pollutants and heavy metals in blood and effects on the neuropsychological development of early childhood in INMA.  Aranbarri, Aritz y cols.	España, 2012	Estudio de cohortes	Se inició con 3 cohortes de citios diferentes, Ribera d'Ebre (n=102), Menorca (n=530) y Granada (n=668, cuatro cohortes nuevas de nacimiento siguiendo un protocolo común: Sabadell (n=657), Valencia (n=855), Asturias (n=494), y Gipuzkoa (n=638).	Estudiar la relación entre los principales contaminantes ambientales y el desarrollo de los niños y niñas en las fases pre y postnatales	3944 madres-hijos en distintas áreas de la geografía española, siendo divididos en conjunto de cohortes que comparten información sobre exposición ambiental, muestras biológicas, exámenes del desarrollo físico y neuropsicológico, cuestionarios de dieta entre otros. Sexo: masculino y femenino.	El nivel de Hg total (Hg-T) en sangre de cordón umbilical de 1.883 diadas madre-niño de las cuatro cohortes más recientes 32. La media geométrica de Hg-T fue de 8,2 µg/L. Un 64% de las muestras de sangre de cordón superaron los niveles de referencia de Hg total establecidos por la Agencia Americana para la Protección del Medio Ambiente (6,4 µg/L). El nivel de Hg-T se asoció fundamentalmente con el consumo de pescado durante el embarazo (media= 78 g/día).
6	Lead poisoning and neurobehavior	México, 2020	Estudio de paradigma	30 miembros de la asociación	Determinar las intoxicaciones por plomo y los efectos	30 carpinteros que correspond	El plomo se asoció negativamente con el riesgo de

	<p>ral effects at the ciudad de Tulcán carpenters association Narváez M y cols.</p>		<p>cuali- cuantit ativo descrip tivo y transve rsal</p>	<p>de carpinteros de la ciudad de Tulcán</p>	<p>neurocomporta mentales.</p>	<p>an a la totalidad de la población.</p>	<p>desarrollar problemas neurocomporta mentales en etapa terminal (OR 0,86 IC del 95% 0,74- 0,996). El efecto de los metales, Pb se relaciona de manera estadísticament e significativa con las dificultades de memoria, la concentración, dolor de cabeza, dolor abdominal, Trastornos del estado de ánimo.</p>
7	<p>Psychomotor Ability in Children Prenatally Exposed to Methylmercury: The 18-Month Follow-Up of Tohoku Study of Child Development .  Nozomi Tatsuta y cols</p>	<p>Tohoku J, 2017</p>	<p>estudio transve rsal</p>	<p>En este estudio se inscribieron 879 mujeres embarazadas que dieron su consentimiento informado por escrito, y se registraron 749 pares de madres e hijos en los años 2003-2006</p>	<p>Examinar los riesgos y beneficios del consumo de pescado durante el embarazo, especialmente los efectos de la exposición prenatal al metilmercurio, el selenio y el ácido docosahexaenoico. (DHA) sobre el neurodesarrollo infantil.</p>	<p>566 pares madre-hijo. La mediana del nivel de THg (mercurio total) en la sangre del cordón umbilical fue de 15,7 (rango, 2,7-96,1) ng/g.</p>	<p>Tatsuta et al. Y cols, observaron que la exposición intrauterina a MeHg puede afectar el desarrollo psicomotor y que los niños son más susceptibles que las niñas a su exposición.</p>
8	<p>Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru.</p>	<p>Peru, 2020</p>	<p>estudio transve rsal</p>	<p>Los participantes de este estudio son miembros del Estudio de cohorte de Amarakaeri, que inscribió a 1.221 hogares en 23</p>	<p>Establecer el déficit del neurodesarrollo en niños que viven cerca de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Perú relacionados con los niveles elevados de mercurio en el cabello.</p>	<p>Se inscribieron hogares con al menos una mujer en edad fértil (de 15 a 49 años). su cónyuge / pareja e hijo menor de edad).</p>	<p>El nivel de mercurio en el cabello infantil difirió significativamente entre las comunidades muestreadas (<math>p &lt; 0.001</math>). Los niños de comunidades nativas tenían niveles medios de mercurio en</p>

	Reuben A y cols.			comunidades (N = 4.083) que rodean la Reserva Comunal Amarakaeri, una gran área protegida en Madre de Dios, para estudiar el impacto de la extracción de recursos en los seres humanos y el medio ambiente. salud			el cabello más altos que los niños no nativos (4,1 µg/g nativos frente a 1,6 µg/g de niños no nativos urbanos y rurales, respectivamente, t(162) = -5,214, p < 0,001).
9	Asociación entre la historia de los empastes de amalgama dental y el riesgo de enfermedad de Parkinson: un estudio de cohorte retrospectivo basado en la población en Taiwán. Yung-C y cols.	Taiwán, 2016	Estudio de cohortes	379 sujetos de control de vecindario y 376 sujetos de control regionales.	Establecer el impacto de la amalgama dental en el desarrollo de la enfermedad de Parkinson (EP) en pacientes con empastes de amalgama restaurados entre 2000 y 2008	Población general de Taiwán	Se observó que los pacientes ancianos expuestos a empastes de amalgama dental tenían 1.583 (cociente de riesgo ajustado [HR] = 1.583, IC 95% = 1.122–2.234) veces más probabilidades de tener enfermedad de Parkinson (EP) en comparación con sus homólogos no expuestos, mostrando una incidencia significativamente mayor de posibles comorbilidades.

## DISCUSIÓN

A nivel global se identifica un creciente problema de contaminación por metales pesados, que compromete severamente la salud física, la salud mental y la seguridad alimentaria en personas ambiental y ocupacionalmente expuestas.

La exposición a estos elementos está relacionada principalmente en adultos con efectos sobre el sistema nervioso central y en niños con déficit en las capacidades sensoriales, cognitivas y psicológicas. Esta revisión de alcance de la literatura se centró en describir las alteraciones neuropsicológicas y trastornos de la conducta en población ocupacional y ambientalmente expuestas a metales pesados plomo y mercurio. De acuerdo con los artículos consultados, el sector minero es uno de los más afectados por la exposición ocupacional al mercurio y plomo, aunque existen otras actividades (agricultura, fabricación y reciclaje de baterías, industria eléctrica y metalúrgica, industria química, entre otras) que generan riesgo a la salud de los trabajadores. Igualmente, la población general está expuesta a estos metales ya que son grandes contaminantes ambientales que pueden ingresar al organismo por la exposición a través de matrices ambientales como aire, agua y alimentos.

Con relación a las características sociodemográficas de los expuestos ocupacionalmente, Cuesta y cols, donde indican que, en el proceso de amalgamiento del oro, el 96% de los mineros pertenecía al sexo masculino encontrándose la mayoría entre los 27 y los 57 años, lo que indica que es población laboralmente activa. La mayoría de los trabajadores habían cursado primaria y solo algunos secundaria completa, llama la atención que el 11% refirió no tener estudios. Constituye la cabeza del hogar el 93% de los trabajadores que laboran con estos metales indicando que este oficio da sustento a muchas familias. El 89% está afiliado al sistema de salud y el 11% no está afiliado, puede ser porque estos trabajadores laboran de forma informal. El 96% no está afiliado a un fondo de pensiones y el mismo porcentaje carece de afiliación a una administradora de riesgos laborales (ARL), siendo un dato de importancia ya que no tendrían sustento durante su vejez ni atención en caso de accidentes de trabajo o enfermedad laboral. Narváez y cols coincide en su estudio en que la mayoría son hombres quienes están expuestos a metales pesados y que, además, informan no tener conocimiento sobre las manifestaciones clínicas de una intoxicación por plomo.

Los estudios indican también los niveles de mercurio y plomo en población general expuesta a estos metales, Osorio S y cols encontraron niveles de mercurio en pelo en el 99,2% de los participantes del estudio y de plomo en sangre en el 96,3% de los mismos, presentando concentraciones de plomo y mercurio superiores a los valores de referencia tanto nacionales como internacionales. Palma M y cols, también encontraron niveles por encima de los valores límites permisibles de mercurio en sangre y cabello en población ambientalmente expuesta. Para Dos Santo C y cols, la mediana de Hg total en cabello fue de 2,05  $\mu\text{g/g}$  con un rango entre 0,05 y 21,75  $\mu\text{g/g}$ , aunque no se observaron diferencias significativas en los niveles de Hg total por sexo y edad. Ibarluzea J y cols los niveles de Pb encontrados fueron de 1,06  $\mu\text{g/dL}$  y 19  $\mu\text{g/dL}$ , siendo mayores que los reportados por Dos Santo C. Reuben A y cols, también encontraron niveles de mercurio en el cabello por encima de los valores permisibles en población general. Cuesta y cols y Narváez M y cols, encontraron niveles de mercurio y plomo en la sangre por encima de los valores límites, pero en población ocupacionalmente expuesta. Las



concentraciones de mercurio en sangre estuvieron entre 4 y 4,9  $\mu\text{g/L}$  y de plomo en la sangre de 8,62  $\mu\text{g/dL}$ .

Según los estudios consultados la prevalencia y los efectos relacionados con el desarrollo neuropsicológico y los trastornos de la conducta para la población ambientalmente expuesta, de acuerdo con Osorio S y cols, para mercurio y plomo se reportaron con mayor frecuencia pérdida de memoria, temblor y problemas de atención. Reuben A y cols, reportaron que los niños con niveles de mercurio en el cabello que superaban el nivel de referencia de la Organización Mundial de la Salud obtuvieron 4,68 puntos de coeficiente intelectual más bajos en habilidad cognitiva que sus compañeros, los niños expuestos a mercurio presentan un estrés oxidativo en el sistema nervioso central y la conducción neural ocasionando una extrema afectación a nivel neuropsicológico y comportamental, déficit en las capacidades sensoriales, cognitivas y psicológicas.

La población expuesta a estos metales pesados presenta cambios neuropsicológicos como alteraciones en el aprendizaje, reducción en cociente intelectual, cambios de comportamiento con hiperactividad, vocabulario escaso, reducción de crecimiento, pérdida de agudeza auditiva y deficiencias en el tiempo de reacción y en la coordinación mano/ojo (2,5). Esto se relaciona con el estudio realizado por Cuesta y cols, quienes describieron que los síntomas presentados están relacionados con el sistema nervioso y se menciona cefalea, temblores, cambios de comportamiento y depresión, por lo que se logra ver el daño que el mercurio y el plomo puede causar a la población que manipula directamente estos metales.

La exposición a metales pesados tales como mercurio y plomo se ha convertido en un problema de salud pública acuciante en nuestra sociedad actual. Cada vez estamos expuestos a un mayor número de agentes tóxicos a lo largo de nuestras vidas representando exposiciones crónicas que pueden comenzar desde antes del nacimiento y continúan de forma acumulativa hasta el final de la vida. Las autoridades sanitarias y los organismos de control se esfuerzan en proponer niveles de referencia por encima de los cuales se considera que existen efectos negativos sobre la salud. Sin embargo, se han encontrado efectos por debajo de estos límites, por lo que determinar dichos efectos por la exposición continuada a tóxicos ambientales a dosis bajas, es sumamente complejo de abordar. Es necesario desarrollar estudios de seguimiento durante varios años y sobre un gran número de sujetos para observar estos posibles efectos, lo que los hace difíciles de realizar y de gran costo. Los organismos encargados de velar por la salud pública deben hacer todos los esfuerzos necesarios para dar respuesta a una creciente preocupación como es el potencial riesgo sobre su salud desencadenado por la contaminación ambiental.

Además de los estudios epidemiológicos, los programas de biomonitorización humana se destacan actualmente como las herramientas más efectivas para monitorear la exposición de la población a todo tipo de contaminantes ambientales y evaluar sus principales efectos.

## **CONCLUSIONES**

A lo largo de este trabajo se revisaron estudios donde se evidencia que personas de cualquier edad (adultos, adolescentes y niños) están expuestos a metales pesados como el mercurio y el plomo en los lugares de trabajo y a través de matrices ambientales ya que son contaminantes ubicuos.



Los trabajos donde se utilizan estos metales son principalmente la minería artesanal, carpintería, agricultura, también en actividades de mecánica, pintura, vitrales y cerámica.

Teniendo en cuenta los valores de referencias nacionales e internacionales para mercurio y plomo dados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el CDC (Centro para el Control de Enfermedades de Atlanta) y el Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS), los estudios revisados reportaron valores para población ambiental y ocupacionalmente expuesta que sobrepasaron los valores límites permisibles y se relacionaron alteraciones neuropsicológicas y los trastornos de la conducta superiores

Las alteraciones reportadas en la población ocupacionalmente expuesta fueron disminución de la productividad, cefaleas, pérdida de la memoria, cambios emocionales, debilidad muscular, depresión, amnesia y temblor, además trastornos psíquicos y en la población ambientalmente expuesta, déficit en las capacidades sensoriales, cognitivas, déficit de atención, efectos a nivel neurológico y comportamental.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar vigilancia activa de la exposición a metales pesados, iniciar un programa para el manejo y uso seguro de estas sustancias y llevar a cabo campañas de sensibilización sobre los efectos ambientales y sobre la salud que pueden desencadenar la exposición a estos metales.

El papel de las autoridades es fundamental en la solución de este problema, se deben realizar controles permanentes donde se verifiquen las condiciones de trabajo y se regule el uso de elementos de protección personal cuando se manipulan estas sustancias.

Para los trabajadores ocupacionalmente expuestos, más allá de acciones de prevención secundaria, se requieren la inserción de los trabajadores al sistema de riesgos laborales y seguridad social y se recomienda revisar las condiciones de contratación y protección efectiva de la exposición a los metales.

Se deben realizar más estudios para determinar los efectos sobre la salud por la exposición continuada a tóxicos ambientales a dosis bajas o a mezclas complejas de estos.

Se recomienda la búsqueda de métodos menos lesivos y el manejo adecuado de los residuos para el caso de la extracción del oro y para el uso de estos metales en la industria que generen menos contaminación ambiental y efectos en la población.

## Referencias bibliográficas

1. Dunia Rodríguez Heredia. Intoxicación ocupacional por metales pesados [citado 20 de octubre de 2021]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012)
2. Nava-Ruíz, Marisela Méndez-Armenta, Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). [Internet]. [citado 20 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane115f.pdf>
3. Aníbal Garza, Hortencia Chávez, Rosario Vega, Enrique Soto. Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por plomo. [Internet]. [citado de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/salmen/sam-2005/sam042e.pdf>
4. Luz Helena Sanín, M.D., D.Sc., Teresa González-Cossío, Ph.D. Isabelle Romieu, M.D., D.Sc., Mauricio Hernández-Avila, Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud: <https://www.scielosp.org/article/spm/1998.v40n4/357-368/>
5. Díaz Gómez, Alejandra del Pilar, Alteraciones Neurológicas por Exposición a Plomo en Trabajadores de Procesos de Fundición [Internet]. [citado 6 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9595/597822.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
6. Astdr en español [Internet]. [citado 6 de marzo de 2021]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs13.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html)
7. Lidya Tellerias C. Paris E.: Impacto de los tóxicos en el neurodesarrollo [Internet]. [citado 20 de octubre de 2021]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-41062008000700010](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062008000700010)
8. Aníbal Garza, Hortencia Chávez, Rosario Vega, Enrique Soto Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por plomo. [Internet]. [citado 6 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/salmen/sam-2005/sam025e.pdf>
9. Luz Helena Sanín, M.D., D.Sc., Teresa González-Cossío, Ph.D., Isabelle Romieu, M.D., D.Sc., Mauricio Hernández-Avila, M.D., D.Sc.: Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud <https://www.scielosp.org/article/spm/1998.v40n4/359-368/>
10. Rubio C, Gutiérrez AJ, Martín-Izquierdo RE, Revert C, Lozano G y Hardisson A: El plomo como contaminante alimentario Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/919/91921343.pdf>
11. Poma PA. Intoxicación por plomo en humanos. An Fac Med. junio de 2008;69(2):120-6.

12. El mercurio y la salud. [Internet]. [citado 20 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
13. Asmat-Inostrosa, J Valdés-Valdazo, JM De-La-Torre Robles: Intoxicación ocupacional por mercurio y la neurotoxicidad. [Internet]. [citado 20 de noviembre de 2021]. Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1132-62552017000300206#B8](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552017000300206#B8)
14. OMS Poma PA. Intoxicación por plomo en humanos. An Fac Med. junio de 2010; Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health#:~:text=Si%3P0el%20grado%20de%20exposici%3%B3n,intelectual%20o%20trastornos%20del%20comportamiento.>
15. Kevin Gregory-Evans , Richard G. Weleber. El mercurio y la salud, [Internet]. [citado 20 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www-clinicalkey-es.ez.urosario.edu.co/#!/content/book/3-s2.0-B9788491135456001083?scrollTo=%23h100201198>
16. ZAVARIZ, C & GLINA, D.M.R. Avaliação Clínico-Neuropsicológica de trabalhadores expostos a mercurio metálico em industria de lâmparas elêctricas. EN: Saúde Pública, Sao Pablo. Vol. 26. NO. 5, pp: 356-365.1992.
17. LEWIN, M & JCOB, J. A cute mercury poisoning and mercurial pneumonitis from gold ore purification. EN: Chest, Vol. 94. PP. 554-556. 1988. MAY M. Disturbing Behavior: Neurotoxic Effects in Children. Environmental Health Perspectives, Vol. 108, No. 6 (Jun, 2000), pp. A262-A267 doi:10.2307/3454600.
18. Samuel D. Osorio-García, Luis J. Hernández-Florez, Rodrigo Sarmiento, Yady C. González-Álvarez, Diana M. Perez-Castiblanco<sup>1</sup>, María Z. Barbosa-Devia, Karla Cárdenas<sup>1</sup>, Adriana Ruiz y Nancy Patiño-Reyes: Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá. Internet]. [citado 11 de diciembre de 2021]. Disponible en <https://www.scielosp.org/article/rsap/2014.v10n4/621-628/>
19. Sonia M. Díaz, Marcela E. Varona-Uribe, Clara I. Sánchez-Infante y Alvaro J. Idrovo: Exposición a plomo y mercurio en poblaciones de la ribera del río Bogotá. [Internet]. [citado 11 de diciembre de 2021]. Disponible en <https://scielosp.org/pdf/rsap/2019.v21n1/1-8/es>
20. Marien Palma-Parra, Nathalia Muñoz-Guerrero, Oscar Pacheco-Garcia, Yamileth Ortiz-Gomez, Sonia M. Díaz: Children and adolescents exposed environmentally to mercury in different municipalities in Colombia: Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3438/343860354005>
21. Cassio dos Santos-Lima, Dennys de Souza Mourão, Chrissie Ferreira de Carvalho, Breno Souza-Marques, Cláudia M. Vega, Rodrigo Araújo Gonçalves, Nayara Argollo, José Antonio Menezes-Filho, Neander Abreu, Sandra de Souza Hacon, [Internet]. [citado 11 de diciembre de 2021]. Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children

and Adolescents of the Amazon Region, Brazil, Disponible en| <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X2030063>

22. Olivero; Asmat, de la Torre y Valdés, ; Díaz, Muñoz y Palma, análisis de las enfermedades laborales producidas por la exposición a mercurio. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/825/an%20c3%81%20lisis%20de%20las%20producidas%20por%20la%20exposici%20n%20a%20mercurio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

23. Aritz Aranbarri Paredes, Eduardo Fano Ardanaz, Sabrina Llop Pérez, Rosa Ramón Bonache, Mario Murcia Hinarejos, Mònica Guxens Junyent, Nerea Lertxundi Iribar, Jesús Ibarluzea Maurologoitia. Levels of persistent organic pollutants and heavy metals in blood and effects on the neuropsychological development of early childhood in INMA. [Internet]. [citado 20 de diciembre de 2021]. <https://eds-p-ebsohost-com.ez.urosario.edu.co/eds/detail/detail?vid=0&sid=c688e0ffaec-49d6-9f7d-bb38393a74fb%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtG12SZzY29wZT1zaXRl>.

24. Morris MC, Brockman J, Schneider JA, Wang Y, Bennett DA, Tangney CC, et al. Association of Seafood Consumption, Brain Mercury Level, and APOE ε4 Status With Brain Neuropathology in Older Adults. JAMA [Internet]. citado 20 de diciembre de 2021. Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2484683>

25. Tatsuta N, Murata K, Iwai-Shimada M, Yaginuma-Sakurai K, Satoh H, Nakai K. Psychomotor Ability in Children Prenatally Exposed to Methylmercury: The 18-Month Follow-Up of Tohoku Study of Child Development. Tohoku J Exp Med. 2017;242(1):1-8. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28484113>.

26. Reuben A, Frischtak H, Berky A, Ortiz EJ, Morales AM, Hsu-Kim H, et al. Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. GeoHealth [Internet]. 21 de mayo de 2020;4(5). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7240868/>

27. Hsu Y-C, Chang C-W, Lee H-L, Chuang C-C, Chiu H-C, Li W-Y, et al. Association between History of Dental Amalgam Fillings and Risk of Parkinson's Disease: A Population-Based Retrospective Cohort Study in Taiwan. PLOS ONE [Internet]. 1 de diciembre de 2016;11(12): 0166552. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0166552>

28. Cuesta, J., López, C. y Uribe. Impacto percibido en la salud de los mineros: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v21n3/0124-0064-rsap-21-34-e481058.pdf>

29. Melba Esperanza Narváez Jaramillo, Clara Eliza Pozo Hernández, Olga Mireya Alonzo Pico: Intoxicación por plomo y efectos neurocomportamentales en la asociación de carpinteros, [Internet]. [citado 13 de diciembre de 2021] Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202020000500431](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000500431)