



Amenaza silenciosa: la presencia de metales pesados por fuentes antropogénicas y naturales. Implicaciones para la salud pública: Una revisión narrativa.

Jorge Luis Gaibor Carpio ¹ , Maria Daniela Gaibor Zumba ¹ , Bryan Pérez Granda ¹ .

1. Centro de Información y Asesoramiento Toxicológico- CIATOX, Ministerio de Salud Pública del Ecuador, Guayaquil-Ecuador.

Resumen

Introducción: La contaminación de los suelos por metales pesados representa una creciente preocupación a nivel mundial. Estos elementos tóxicos, provenientes de diversas fuentes antropogénicas y naturales, se acumulan en los cultivos y, por ende, ingresan a la cadena alimentaria.

Objetivo de la revisión: Este artículo es una revisión narrativa con el objetivo de mostrar la amplia disposición de metales pesados como riesgos potenciales para la salud humana. Buscamos artículos de revisiones sistemáticas y estudios clínicos usando PUBMED para compilar las posibles fuentes de intoxicación.

Puntos importantes de la revisión:

Las fuentes más importantes de intoxicación por metales pesados se relacionan principalmente con la contaminación del suelo y su posterior transferencia a los alimentos.

Zonas seleníferas: Estos lugares presentan altas concentraciones naturales de metales pesados, lo que contamina los suelos y, por ende, los cultivos que se desarrollan en ellos.

Contaminación industrial: la actividad industrial es una fuente importante de contaminación del suelo por metales pesados, ya que estos pueden ser liberados al ambiente a través de diversos procesos industriales.

Biomasa: diferentes muestras en animales dan indicios que la biomasa está contaminada con metales pesados.

Conclusión: Los metales pesados, están presente en diferentes formas y al alcance de la población. Se destaca la importancia de la contaminación del suelo como fuente principal de intoxicación por metales pesados a través de la ingesta de alimentos, especialmente arroz, trigo y carnes.

Palabras claves:

Metales pesados, plomo, mercurio, fuentes de intoxicación.

Silent threat: the presence of heavy metals from anthropogenic and natural sources. Implications for public health: A narrative review.

Introduction: Soil contamination by heavy metals represents a growing concern worldwide. These toxic elements from various anthropogenic and natural sources accumulate in crops and enter the food chain.

Objective of the review: This article is a narrative review that aims to show the wide availability of heavy metals as potential risks to human health. Using PUBMED, we searched for articles from systematic reviews and clinical studies to compile possible sources of poisoning.

Important points of the review:

The most important sources of heavy metal poisoning mainly relate to soil contamination and its subsequent transfer to food.

Seleniferous areas: These places have high natural concentrations of heavy metals, which contaminate the soils and, therefore, the crops that grow in them.

Industrial pollution: industrial activity is an important source of soil contamination by heavy metals since these can be released into the environment through various industrial processes.

Biomass: Different animal samples indicate that biomass is contaminated with heavy metals.

Conclusion: Heavy metals are present in different forms and within the population's reach. Soil contamination is highlighted as a main source of heavy metal poisoning through food intake, especially rice, wheat, and meat.

Keywords:

Heavy metals, lead, mercury, sources of poisoning.

Introducción

Los metales pesados son elementos químicos que presentan una densidad elevada y, en general, son tóxicos para los seres vivos, incluso en pequeñas concentraciones. A diferencia de otros contaminantes, los metales pesados no se degradan en el medio ambiente, sino que se acumulan en los suelos, el agua y los organismos vivos a través de un proceso conocido como bioacumulación [1]. Algunos ejemplos en esta categoría son el plomo (Pb), mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el arsénico (As), el cromo (Cr), y el talio (Tl); compuestos que en forma natural forman parte de la corteza terrestre como resultados de procesos geológicos que forman parte de muchos minerales y no pueden ser degradados o destruidos [2].

En un estudio en la costa del Ecuador en el año 2014 determinó la presencia de metales pesados, Cadmio y Plomo, en el estuario del Río Chone; se obtuvieron 66 muestras. En el agua las concentraciones de Cadmio fueron mayores en lugares aislados (0.129 mg/L). En el sedimento, se demostró que el nivel de Cadmio tenía una mayor acumulación (0.0033 mg/g). Para Plomo, también se encontraron sitio de muy alta concentración desde 0.18 hasta 0.21 mg/L y en lugares con mayor flujo de agua del estuario del Río Chone las concentraciones fueron de 8 UPS (Unidades Prácticas de Salinidad) y menor influencia con las corrientes del agua del Mar (30 UPS). Estos resultados comparados con la legislación Ecuatoriana evidencian concentraciones altas de Cadmio en el ecosistema del estuario en estudio, que podría afectar la salud de organismos que viven a nivel de la columna de agua, tales como peces, al igual que actividades de recreación de los bañistas locales, de los cantones Sucre y San Vicente Manabí [3].

La evaluación de metales pesados en leche puede considerarse como indicador de contaminación ambiental de un lugar. Un estudio en Ecuador tuvo el objetivo de determinar la presencia de Plomo, Mercurio y Arsénico en leche cruda de Machachi, Provincia de Pichincha-Ecuador. Se recolectaron 58 muestras provenientes de 29 fincas lecheras con sistema de pastoreo extensivo y ubicadas hasta máximo un kilómetro a la redonda del Municipio de Machachi, donde existe actividad industrial y está cerca de la Panamericana Sur. Las muestras fueron analizadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por generador de hidruros (Mercurio y Arsénico) y con horno de grafito (Plomo). Todas las muestras analizadas mostraron niveles de Plomo, con una media de 0.208 mg/kg (rango entre 0.0016 a 0.719 mg/kg), de las cuales el 98.28% (57/58) contienen niveles superiores a los máximos permitidos por la NTE INEN 9 de 0.02 mg/kg. También se detectó Mercurio en cuatro muestras (media de

0.00009 mg/kg, rango entre 0.00 a 0.002 mg/kg) y Arsénico en dos muestras (media de 0.00003 mg/kg, rango 0.00 a 0.001 mg/kg), sin embargo, las mismas estuvieron por debajo del límite permitido por el Codex Alimentarius (0.01 mg/kg) en alimentos en general. Con estos resultados, los autores concluyeron que podría existir un área contaminada con Pb, por lo que se debe realizar un monitoreo continuo en leche, y ampliar la investigación a las posibles fuentes de contaminación, como agua de bebida, agua de riego, forrajes y alimentos que reciben las vacas lecheras de la zona [4]. También se ha demostrado que la contaminación con metales pesados se presenta en zonas protegidas del Ecuador como la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje en la provincia de Esmeraldas. Se determinó que el elemento con mayores valores de contaminación es el Cadmio (Cd). El estudio concluye poniendo de manifiesto la necesidad de adoptar cambios sustanciales en los usos y prácticas agrícolas, y de reformar la normativa legal y los programas de manejo con el fin de suministrar de una manera integrada e integradora, los lineamientos básicos de acción para la conservación del patrimonio natural y cultural, la provisión de servicios ecosistémicos y culturales que contribuyen a la sostenibilidad del área, al buen vivir de sus poblaciones locales y a fortalecer la gestión del área protegida [5].

Diferencia entre microminerales y metales pesados

La clasificación de un metal como "pesado" no se basa únicamente en su peso atómico o densidad, sino principalmente en su toxicidad para los seres vivos y su persistencia en el medio ambiente. Los metales considerados como pesados y tóxicos constituyen:

- Cromo: Especialmente el cromo hexavalente (Cr VI), que es altamente tóxico y cancerígeno.
- Níquel: En altas concentraciones puede ser tóxico y causar alergias.
- Selenio: Aunque es un elemento esencial en pequeñas cantidades, en altas concentraciones puede ser tóxico.

Metales que no son considerados metales pesados tóxicos, pero son esenciales para la vida denominados microminerales

- Cobre: Esencial para muchos procesos biológicos, pero en altas concentraciones puede ser tóxico para algunos organismos acuáticos.
- Hierro: Esencial para el transporte de oxígeno en la sangre y otros procesos biológicos.
- Manganeso: Esencial para el metabolismo y la función neuronal.
- Molibdeno: Esencial como cofactor en muchas enzimas.

- Zinc: Esencial para el crecimiento, el desarrollo y la función de muchas células.

[6].

El aluminio, mercurio o plomo son los causantes más comunes de envenenamiento por metales pesados en nuestro medio; pero existe un elemento tan tóxico para la vida que es considerado el metal más tóxico: el talio.

El talio, un elemento químico con el símbolo Tl, tiene un número atómico 81 en la tabla periódica. El sulfato de talio alguna vez se usó como veneno para hormigas y ratas. El límite ocupacional de exposición al talio es de 0,1 mg/m³ en la piel durante ocho horas al día. Los niveles de 15 mg/m³ se consideran inmediatamente peligrosos para la salud. El talio se absorbe fácilmente a través de la piel y también durante la inhalación. Debido a que el talio es insípido, inodoro y soluble en agua, se ha informado de intoxicaciones accidentales y criminales [7].

Fuentes de contaminación de metales pesados

El arroz

Los metales pesados son ricos en zonas seleníferas, la contaminación del suelo por metales pesados provoca un exceso de metales pesados en el arroz y otros cultivos alimentarios [8-10]. En un estudio en una zona selenífera en Enshi, China se investigó la bioacumulación de metales pesados. Los suelos estaban contaminados por Mo, Cu, As, Sb, Zn, Cd, Tl y Hg causados por la erosión de las lutitas ricas en Se. Entre estos metales pesados, el Cd y el Mo tenían la mayor biodisponibilidad en los suelos. Las fracciones biodisponibles de Cd y Mo representaron el 41.84 y el 10.75% del total de Cd y Mo en los suelos, respectivamente. En consecuencia, se encontraron en el arroz factores de bioacumulación (BAF) mucho más altos de Cd (0.34) y Mo (0.46), en comparación con los de otros metales pesados (Zn 0,16, Cu 0,05, Hg 0,04 y Sb 0.0002)[9].

En otro estudio [10] de 137 muestras de suelo de tierras agrícolas alrededor de una fundición de plomo/zinc en un área de 64 km². Se investigaron en detalle la concentración, distribución espacial y fuente potencial de nueve metales (oides) pesados (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn) en los suelos y su posible riesgo ecológico. Los resultados mostraron que las concentraciones promedio de Cd, Pb, Cr y Zn en estos suelos eran más altas que su valor de fondo en la provincia de Henan, y el contenido promedio de Cd era 2.83 veces los valores de detección de riesgo en la norma nacional de China,

esto determina que zonas agrícolas cerca de zonas industriales tiene un riesgo alto de contaminación.

El trigo

Con la creciente industrialización de la agricultura, la cantidad de producción de lodos de depuradora aumenta cada año. En un estudio de experimento en invernadero para investigar la acumulación de metales pesados en el trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en 30 suelos calcáreos. El trigo cultivado en suelos tratados con lodos de depuradora tuvo la materia seca media más alta, y fue 2.11 y 1.25 veces mayor que el trigo cultivado en suelos de control y tratados con lodos de depuradora, respectivamente. En todos los tratamientos, las raíces de trigo tuvieron mayores niveles de metales pesados que los brotes de trigo. Entre todos los metales pesados examinados, Pb y Cu tuvieron los factores de bioconcentración más altos para raíces y brotes (BCFRoots y BCFShoots) en suelos de control y tratados con lodos de depuradora, seguidos por Cd en suelos tratados con lodos de depuradora con púas, y Co y Ni tuvieron los BCFRoots y BCFShoots más bajos en todos los tratamientos. Dado que en este estudio se utilizó una amplia gama de suelos calcáreos y que los suelos calcáreos constituyen la mayoría de los suelos en el Medio Oriente, los hallazgos son relevantes para todos los países de esta región [11].

En carnes frescas y congeladas

En un estudio se analizaron 13 metales pesados en muestras representativas de carne de ganado, carne de aves, despojos de ganado y despojos de aves (20 por categoría) de mercados y tiendas minoristas en 16 ciudades de la provincia de Shandong, China. Los metales pesados investigados fueron Cu, Cr, V, Ni, As, Se, Sn, Cd, Pb, Sb, Mn, Ba y Hg. Los resultados revelaron niveles medios de metales pesados totales en la carne y los despojos de 1.56 mg/kg y 39.8 mg/kg, respectivamente. Cu, Cr, Mn, Ni, Se, Ba y Pb se encontraron en todas las muestras (100%), seguido de Hg (95.0%), V (91.3%), Sn (73.8%), Cd (51.3%), As (21.3%) y Sb (11.3%) [12]. En otro estudio se recogieron un total de 30 muestras, 15 de carne de vacuno refrigerada y 15 congeladas, de varias tiendas de comercialización en Sharkia. Se encontró que los niveles promedio (mg/kg) en muestras de carne refrigerada fueron 0.64 ± 0.14 para Pb, indetectable para Hg, 0.02 ± 0.14 para Cd y 4.66 ± 0.57 para As. En muestras congeladas, las concentraciones promedio fueron 0.89 ± 0.21 para Pb, 0.08 ± 0.03 para Hg, 0.02 ± 0.004 Cd y 5.32 ± 0.59 para As. En general, se observó que los niveles de HM en muestras de carne congelada eran más altos que en las muestras refrigeradas [13].

En ostras y almejas

Las ostras y las almejas son mariscos abundantes y de consumo popular. Estos bivalvos demostraron ser bioindicadores adecuados para evaluar la acumulación de metales pesados en el medio acuático. En un estudio se investigó la presencia de metales pesados como As, Cd, Hg y Pb en las ostras cultivadas *Saccostrea glomerata* y las almejas *Meretrix lyrata* recolectadas en VanDon - Quang Ninh y CatBa - Hai Phong. Los resultados mostraron que las concentraciones de metales pesados en las ostras *Saccostrea glomerata* y almejas *Meretrix lyrata* se presentaron en el orden de As > Cd > Pb > Hg. La concentración más contaminada con As entre los cuatro metales pesados estudiados en seis sitios de muestreo fue de 2.81 ± 1.07 y 1.6 ± 0.62 mg/kg de peso húmedo para almejas y ostras, respectivamente [14].

En el camarón banana

En un estudio se llevó a cabo para analizar el nivel de contaminación por metales pesados de níquel (Ni), zinc (Zn) y plomo (Pb) en camarones (*Penaeus merguensis*) capturados en el norte del Golfo Pérsico. La concentración de metales pesados en el músculo del camarón siguió el orden Zn > Ni > Pb. El contenido de Zn y Ni fue superior a los límites estándar recomendados por la OMS. El impacto combinado de todos los metales fue inferior al límite aceptable de 1 en el camarón. El riesgo cancerígeno del Ni era superior al valor inaceptable. En total, el hallazgo no indicó ningún riesgo potencial para la salud por el consumo diario de esta especie. Sin embargo, el consumo prolongado de camarones puede suponer un riesgo de efectos cancerígenos del níquel. Es necesario un seguimiento continuo de estos metales traza en los productos del mar para garantizar la calidad de los productos del mar y la seguridad de los alimentos [15].

El cangrejo de río

En un estudio se evaluó las concentraciones de metales en el músculo abdominal y el exoesqueleto de cangrejos de río de 3 y 4 años (*Orconectes limosus*) recolectado en el lago Goplo. En otoño (octubre de 2014) se recolectaron un total de 93 machos y 35 hembras. Los análisis indicaron que los metales pesados se acumulaban en el músculo y el exoesqueleto en la siguiente secuencia: Zn > Cu > Pb > Mn > Ni > Hg y Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Hg, respectivamente. En comparación con el estudio realizado hace dos años, se encontraron concentraciones de Pb notablemente más altas en el músculo y se determinó un mayor contenido de Zn, Pb, Mn y Ni en el exoesqueleto [16].

En pepinos de mar

En un estudio se evaluó el contenido de metales pesados (Cu, Zn, Cr, Pb, Cd, As y Hg) en pepinos de mar jóvenes (*Apostichopus japonicus*) de las zonas costeras de los mares de Bohai y Amarillo en el norte de China. Se recolectaron crías de pepino de mar en veinte criaderos comerciales distribuidos en cinco ciudades costeras. Las concentraciones medias obtenidas para metales pesados en mg/kg fueron las siguientes: Cu (0.179), Zn (2.634), Cr (0.108), Pb (0.065), Cd (0.161), As (0.372), Hg (0.034). Todas las concentraciones medias estaban por debajo de los límites residuales máximos establecidos por la legislación china, pero el As en el 10 % de las muestras superó el umbral de seguridad. Se encontraron diferencias significativas en los contenidos de Cr, Pb y Hg entre las cinco áreas investigadas. En general, los niveles de metales pesados en los juveniles de pepino de mar fueron relativamente bajos y se debe prestar más atención a los metales tóxicos Pb, Cd, As y Hg en el futuro programa de monitoreo de rutina [17].

Pescado salado

En Zagazig, Egipto, se analizaron cuatro tipos de pescado salado producido localmente (sardina, feseikh, sahlia y arenque salados) para detectar plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As) y mercurio (Hg). Con excepción del mercurio, que no se encontró en los arenques salados, los resultados registrados mostraron que todos los metales analizados estaban presentes en las muestras evaluadas. Los arenques contenían los contenidos residuales de Pb y Cd más altos, seguidos por la sardina, el feseikh y la sahlia, en ese orden. Después de la sardina, el arenque y la sahlia, el feseikh tiene la mayor concentración. La sardina, el feseikh y la sahlia tenían las mayores cantidades de mercurio, en ese orden. Se encontró que varias muestras estaban por encima de los niveles máximos permitidos. No hubo peligros aparentes asociados con el consumo de dichos productos pesqueros convencionales, según los valores HQ y HI calculados para los metales pesados bajo investigación basados en las ingestas diarias [18], en 3 estudios adicionales no se determinó niveles tóxicos de metales pesados en carpas o peces locales [19-22].

Leche de vaca

En una revisión sistemática [23] se presenta la toxicidad potencial de metales pesados como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), hierro (Fe), níquel (Ni), aluminio (Al) y cobre (Cu) en leche cruda de vaca. Se revisó un total de 60 artículos originales publicados desde 2010 que informan sobre los niveles de estos metales en la leche cruda de vaca en todo el mundo. Los datos mostraron que los niveles más altos de Ni

(833 mg/L), Pb (60 mg/L), Cu (36 mg/L) se observaron en la leche cruda de vaca recolectada en el área compuesta de granitos y gneises de granito en la India, mientras que el nivel más alto de Cd (12 mg/L) se registró en la zona minera de barita de la India. Los valores de Fe en muestras de leche cruda de vaca estuvieron por encima del límite máximo de la OMS (0.37 mg/L) y los valores más altos (37.02 mg/L) se registraron en la India. El nivel más alto de Al se registró (22.50 mg/L) en la leche de vaca cruda recolectada cerca de la región de plantas productoras de alimentos en Turquía. Los valores de cocientes de peligro objetivo (THQ) de Hg estaban por debajo de 1, lo que sugiere que los consumidores de leche no corren un riesgo no cancerígeno, excepto en la provincia de Faisalabad (Pakistán), donde los valores de THQ = 7.7. Para los demás metales pesados, los valores de THQ fueron >1 para el Pb (10 regiones de 70), el Cd (6 regiones de 59), el Ni (3 de 29) y el Cu (3 de 54).

En una segunda revisión sistemática [24] de 48 artículos con datos sobre 981 muestras de leche, la evaluación inicial, Cu, Cd, Zn y Pb fueron los más contaminantes, los cuales excedieron los criterios máximos permisibles en el 94%, 67%, 62% y 46% de las muestras de analizadas. Basándose en el cociente de peligro objetivo y los resultados del riesgo cancerígeno, los consumidores de leche en 33 (68.75%) y 7 (14.5%) estudios estuvieron expuestos a niveles moderados a altos de riesgo cancerígeno y no cancerígeno, respectivamente. El mayor nivel de riesgo se debe al consumo de leche pasteurizada y esterilizada detectado en Pakistán, Brasil, Egipto, Eslovaquia y Turquía.

En una tercera revisión sistemática en China [24], se incluyeron 16 estudios que analizaron los niveles de metales en la leche y los productos lácteos en 20 regiones administrativas provinciales. La mayoría de los estudios detectaron metales pesados tóxicos en muestras de leche y productos lácteos, incluidos mercurio, plomo, cadmio, cromo y arsénico. La concentración de plomo en la leche de estos estudios no excedió el estándar chino para la leche. Sin embargo, tres estudios detectaron niveles de plomo relativamente altos tanto en la leche comercial como en la cruda, superando el estándar de la Comisión Europea. El ambiente contaminado que rodea la granja, los piensos y los materiales de embalaje son probablemente fuentes de metales en la leche y los productos lácteos. El índice de peligro para los 11 elementos metálicos analizados en la leche y los productos lácteos fue inferior a 1, lo que indica riesgos para la salud no cancerígenos insignificantes derivados de la exposición a estos metales. Los niños corren un mayor riesgo que los adultos. Esta revisión ilustra que la investigación en este campo se limita a China.

En una cuarta revisión sistemática de 66 artículos publicados [26] entre 2000 y 2021 en la que se examinaron en la leche, arsénico (As), el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el cadmio (Cd). El Pb fue el más estudiado (43 %). La concentración de As fue 12.71 µg/kg (IC 95 % 0.16-25.26), Hg 16.09 µg/kg (IC 95 % 4.31-27.70), Pb 197.04 µg/kg (IC 95 % 75.28-318.18), Cd 31.67 µg/kg (IC 95 % 20.14-43.20). Las concentraciones de metaloide en la leche estaban dentro de los límites umbral distintos de Pb y Cd. Algunos estudios en América, África y Asia informaron concentraciones elevadas de Pb y Cd. Los valores de Cociente de Riesgo (RQ) simulado y Cociente de Riesgo Integrado (IRQ) generalmente permanecen por encima de uno, lo que indica riesgos potenciales para la salud humana. En particular, el valor de IRQ aumenta al considerar más metales (loides). El análisis de subgrupos indica que la leche baja en grasa contiene concentraciones más altas de metales (loides). Si bien las concentraciones de metales (loides) en la leche cumplen en gran medida con los límites de seguridad, algunas regiones presentan concentraciones preocupantes.

En aves de corral para consumo humano

Los tejidos de aves son bioindicadores para la investigación sobre la relación entre los niveles ambientales de acumulación de metales pesados. Usando muestras de animales atropellados recolectados, se analizaron concentraciones de metales pesados en órganos internos (corazón, hígado y riñón), plumas (primaria y mamaria) y huesos (esternón y fémur) de dos especies focales, *Amaurornis phoenicurus* y *Gallinula chloropus*. La acumulación de metales pesados varía según el tejido objetivo y que las variables están asociadas con las especies de aves y el tipo de metal pesado. Aunque Zn y Cu fueron las concentraciones más altas entre ambas especies, el Cu se acumuló principalmente en los órganos internos, el As en las plumas y el Pb en los huesos. Las concentraciones de As, Ni y Pb en las plumas de ambas especies focales fueron inferiores a las reportadas en la literatura, mientras que Cd y Cr estuvieron por encima de los niveles tóxicos. Los resultados también mostraron que la correlación espacial para la concentración de metales pesados entre los tejidos de las aves era más débil que la correlación no espacial, lo que sugiere bajas autocorrelaciones y variabilidad espaciales. Además, el análisis de regresión múltiple reveló una correlación significativa para las estimaciones de Cr, As y Pb en el corazón, el esternón y el riñón de *A. phoenicurus*, respectivamente; y potencialmente Cr en *G. chloropus* fémur mediante el uso de plumas. Estos resultados respaldan la viabilidad de utilizar plumas como indicadores de contaminación por metales pesados de As, Cr y Pb [27].

Atún enlatado

El consumo humano de proteína de pescado, incluido el atún enlatado, está aumentando constantemente en todo el mundo. Sin embargo, existen algunas preocupaciones sobre la posible exposición a concentraciones elevadas de metales en el atún enlatado. En una revisión sistemática [28] de 23 artículos se extrajeron 1295 muestras de atún y se analizaron la concentración de metales cobre (Cu), selenio (Se), hierro (Fe), zinc (Zn), mercurio (Hg), plomo (Pb) y cromo (Cr), arsénico (As), níquel (Ni), estaño (Sn) y cadmio (Cd) en el atún enlatado. El orden de clasificación de los metales basado en las concentraciones medias ($\mu\text{g/g}$ de peso húmedo) fue Fe (13.17) > Zn (9.31) > Se (2.23) > Al (1.8) > Cr (1.63) > Cu (1.52) > As (0.38) > Ni (0.33) > Pb (0.24) > Cd (0.14) > Hg (0.11) > Sn (0.1). A excepción de Cd y Se, las concentraciones de otros metales en el atún enlatado fueron inferiores a los límites recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y los Estándares Nacionales de Irán. Organización (INSO). El cociente de riesgo objetivo (THQ) mínimo y máximo para adultos fue 5.55E-5 para Al y 2.23E-08 para Cr. Para los niños, fueron 7.23E-05 para Al y 2.91E-08 para Cr. El THQ y el cociente de peligro objetivo total (TTHQ) fueron $\leq 1,0$ para consumidores adultos y niños. El riesgo incremental de cáncer a lo largo de la vida (ILCR) del As fue de 3.21E-5 en adultos y de 4.18E-5 en niños. Los adultos y niños que consumen atún enlatado en Irán no corren un riesgo no cancerígeno, pero sí un riesgo cancerígeno debido al As.

En aves silvestres

En un estudio [29], se midió el nivel de mercurio, hierro, cobre y zinc en 18 cormoranes grandes (*Phalacrocorax carbo*) recolectados en los humedales de Anzali y Gomishan en el sur del Mar Caspio. El nivel medio de metales en los tejidos secos del músculo, hígado y riñón fue 2.26, 5.71, 3.79-Hg; 943.54, 379.97, 348.05-Fe; 42.64, 14.78, 60.79-Cu y 71.97, 134.63, 77.82-Zn, respectivamente (mg/kg). Los resultados de la correlación de Pearson mostraron una relación positiva y fuerte entre la grasa en el hígado y el mercurio ($r = 0.95$, $R^2 = 0.90$). Además, hubo una diferencia significativa entre los valores de todos los metales con los límites permitidos presentados en la EPA, la OMS y el CCME, donde todos los valores estaban por encima de los niveles estándar. Por lo tanto, como los humanos a veces comen los músculos del ave, este resultado es una seria advertencia. Sin embargo, los niveles relativamente altos de metales pesados acumulados en diferentes tejidos del cormorán grande en esa época son resultado del alto peso y

nutrición que tienen en los días terminales de su migración por falta de actividad física natural.

Gorriones silvestres

Las aves paseriformes como los gorriones, se han utilizado como centinelas eficaces de la contaminación de los ecosistemas. Pueden proporcionar evidencia directa de la biodisponibilidad y acumulación de elementos metálicos pesados en el medio ambiente. En un estudio [30] de bioacumulación de metales pesados (Cu, Zn, Pb y Cd) y Ca en diferentes órganos y tejidos (plumas, órganos internos, esqueletos y músculos) de un ave urbana, el gorrión arbóreo (*Passer montanus*), recolectados de un sitio contaminado [Baiyin (BY)] y un sitio relativamente no contaminado [Liujiaxia (LJX)], y se investigaron sus asociaciones. Hubo concentraciones significativamente mayores y menores de metales pesados y Ca, respectivamente, en diferentes órganos y tejidos de gorriones en BY que en LJX. Sin embargo, a excepción del Pb, los niveles de metales pesados estaban por debajo del umbral de efectos subletales. Se cuantificaron las variaciones de los metales dependientes de la edad y se descubrió que las aves adultas contenían una mayor concentración de diferentes órganos y tejidos de metales, excepto las plumas, en comparación con los polluelos y los juveniles. La distribución tisular de los metales pesados en gorriones de diferentes edades y sexos fue similar en los dos sitios de estudio, y los elementos de metales pesados se acumularon principalmente en las plumas. Este estudio investigó más a fondo la correlación entre los metales pesados en diferentes órganos y tejidos y encontró que las correlaciones entre ellos eran fuertes en los polluelos y los adultos, pero débiles en los juveniles. Además, el Pb y el Cd en órganos internos, esqueletos y músculos de gorriones jóvenes se pueden estimar utilizando plumas, mientras que Cu y Zn se encontraron en gorriones adultos.

Crias de tortuga marina

Las fuentes antropogénicas pueden provocar la acumulación de metales pesados en organismos marinos mediante ingestión, absorción o inhalación. En el caso de los embriones de tortugas marinas, los metales pesados pueden ser absorbidos por el huevo desde el entorno de incubación o transferidos por vía materna a la descendencia, causando problemas neurológicos, reproductivos y de desarrollo. En un estudio [31] se recogieron crías fallecidas en dos playas cercanas a una fábrica de cemento en Ras Baridi, de las cuales se detectaron concentraciones de metales pesados (cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), selenio (Se), cadmio (Cd) y plomo (Pb)) se midieron en el hígado, el músculo y la yema residual de las

crías. Las concentraciones de metales pesados fueron significativamente diferentes entre los tejidos muestreados.

Animales migratorios

La contaminación por metales pesados en los humedales de la India está aumentando debido a las actividades de desarrollo industrial, agrícola y urbano. Las aves playeras ocupan niveles tróficos superiores y, por tanto, son especialmente vulnerables a la contaminación por metales pesados. En un estudio [32] se midió la concentración de metales pesados (zinc, cobre, cobalto, cromo, plomo y cadmio) en 22 especies comunes de aves playeras migratorias (220 muestras de excrementos de aves playeras). Se determinó concentraciones altamente peligrosas de Zn: 84.72-224.74 mg/kg; Cu: 26.63-170.36 mg/kg; Co: 13.98-14.42 mg/kg; Cr: 14.78-98.16 mg /kg; Pb: 18.95-157.29 mg/kg; Cd: 9.33-60.56 mg/kg. El estudio determinó una transferencia trófica de los suelos a las presas y de estas a las aves.

Sedimentos marinos

En la ciudad costanera de Hong Kong, que experimenta cargas de metales sustancialmente diferentes a las de las actividades antropogénicas se realizó un estudio [33] que evaluó la contaminación de diez metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, Fe, V) en los sedimentos costeros. El resultado reveló que la tendencia de contaminación de estos metales disminuyó desde el interior hacia el exterior de la costa del área estudiada. El orden de contaminación fue $Cu > Cr > Cd > Zn > Pb > Hg > Ni > Fe > As > V$, de los cuales el Cd, Hg y Cu fueron los factores de riesgo ecológico más potenciales en comparación con otros metales. También se demostró que el Cr, Cu, Hg y Ni podrían originarse en las descargas industriales y las actividades de transporte. V, As y Fe se derivaron principalmente de origen natural, mientras que Cd, Pb y Zn se identificaron en vertidos municipales y aguas residuales industriales.

En lluvia ácida cerca de zonas mineras

La lixiviación de metales pesados relaves de minas abandonadas puede representar una grave amenaza para las zonas circundantes, especialmente en las regiones influenciadas por la lluvia ácida con alta frecuencia. En un estudio [34], se evaluaron los riesgos potenciales de los metales pesados en los relaves recolectados de una mina multimetálica abandonada a pequeña escala. Los resultados sugirieron que el Zn, Cu, Pb y Cd en los relaves podrían causar riesgos muy altos. Tanto las pruebas de lixiviación por lotes como las semidinámicas confirmaron consistentemente que la lixiviación de metales pesados (particularmente Cd) podría provocar una contaminación

grave del medio ambiente circundante. Las tasas de lixiviación de metales pesados dependían del pH y estaban relacionadas con sus especiaciones químicas en los relaves de la mina. El comportamiento de lixiviación de Cu y Cd estuvo dominado por el lavado superficial, el Zn fue controlado inicialmente por difusión y luego por lavado superficial, y los mecanismos de lixiviación de Pb y As variaron con las condiciones de pH. Se estimó que la lluvia ácida podría elevar considerablemente los flujos de liberación de Zn (20.8%), Cu (36.7%), Pb (49.9%) y Cd (35.3%) en el área de estudio.

En tormentas de polvo

En un estudio [35], se investigó los peligros potenciales de los metales pesados en las tormentas de polvo mediante la recolección de muestras. Los metales pesados en las tormentas de polvo fueron contaminados por fuentes antropogénicas, lo que llevó a que sus concentraciones fueran superiores a los valores iniciales. Los factores de enriquecimiento y los índices de geoacumulación mostraron que los metales pesados provienen tanto de fuentes naturales como antropogénicas, Cu, Ni, Zn y Pb están fuertemente influenciados por fuentes antropogénicas. Los metales pesados en las tormentas de polvo se dividieron en cuatro fuentes: Cu y Ni se atribuyeron a fuentes industriales, principalmente de la minería local y el procesamiento de metales; El Cr fue aportado principalmente por fuentes industriales relacionadas con la producción industrial, como la combustión de carbón; El Pb y el Zn fueron aportados principalmente por fuentes de transporte; y Ti, V, Mn, Fe y As procedían de fuentes naturales y agrícolas. El nivel de riesgo ecológico integral de los metales pesados en las tormentas de polvo fue bajo, pero hubo riesgos moderados y superiores en sitios individuales. Tanto los adultos como los niños tenían los mayores riesgos cancerígenos y no cancerígenos por vía de ingestión, y el riesgo para los niños era mayor que el de los adultos.

Cenizas volantes de hornos de incineración de basura

Las cenizas volantes de la incineración de residuos sólidos municipales (RSU) son un residuo peligroso que contiene metales pesados. La escoria de aluminio secundaria (SAD) es un residuo peligroso vertido durante la fundición de aluminio que contiene nitruro de aluminio activo (AlN). En un estudio [36], los metales pesados de las cenizas volantes de MSWI se redujeron a una aleación mediante nitruro de aluminio. El resultado final fue virio transparente para la construcción, se redujo el hierro y el zinc en el 67 y 100 % de las cenizas. Este trabajo proporcionó una idea novedosa de reciclar residuos

sólidos en aleaciones y vidrio transparente para la construcción.

Polvo de carretera

Los metales pesados son persistentes y bioacumulativos en el polvo de carretera. En un estudio [37] se revisa la contaminación por metales pesados reportados en el polvo de las vías urbanas de varias ciudades en diferentes continentes (Asia, Europa, África, América y Australia). Las concentraciones de Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe eran más altas que sus valores iniciales en el suelo. Los niveles de contaminación de los metales pesados variaron ampliamente entre ciudades, países, continentes y períodos. Se observa un alto nivel de contaminación por Pb y Cd en el polvo de las carreteras debido al funcionamiento de gasolina con plomo y a la población de vehículos antiguos. La mayor contaminación con Zn se observó en el polvo de las carreteras en Europa, seguida de Asia, África, Australia y América (América del Norte y América del Sur). La contaminación por Cu y el índice de carga contaminante (PLI) son los más altos en Europa y los más bajos en África, con valores intermedios de PLI en ciudades americanas y africanas. El riesgo ecológico potencial en diferentes continentes se observó en mayor medida en Asia, seguida de Europa, Australia, América y África. Una evaluación comparativa del riesgo no cancerígeno para los niños indicó que Australia es el país más susceptible debido a la alta exposición a metales pesados en el polvo de las carreteras, seguido de Asia. Sin embargo, no existe ningún riesgo susceptible en las ciudades europeas, africanas y americanas. No se observó ningún riesgo potencial para los adultos debido a metales no cancerígenos. El riesgo cancerígeno para todos los grupos de edad se encontraba dentro del rango límite umbral para todas las regiones del mundo.

En conductores de automobiles en zonas urbanas

En un estudio [38] en la ciudad de Yazd-Irán, se evaluó a taxistas urbanos por la presencia de siete metales pesados, incluidos arsénico, cadmio, cobalto, cromo, plomo, manganeso y níquel. Las concentraciones de exposición se determinaron mediante muestreo de aire en la zona de respiración de 40 taxistas interurbanos seleccionados al azar, 20 en invierno y 20 en verano, en 2019. El arsénico y el plomo tenían las concentraciones de exposición más altas entre los siete metales pesados medidos, mientras que los metales de cobalto y cromo tenían las concentraciones más bajas. El arsénico, el cadmio, el manganeso y el níquel probablemente causarían algunos problemas de salud adversos no cancerígenos ($THQ > 1$) en los conductores a lo largo de su vida laboral. El percentil 95% ECR de los metales pesados medidos fue 1.3 E -

03 en total, que es mucho más alto que el valor de $1E - 06$. La concentración de arsénico y níquel fue mayor en invierno que en verano. Se demostró que los taxistas de la ciudad de Yazd corren un riesgo considerable para su salud.

En trabajadores automotrices

En un estudio [39] se evalúa la concentración de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr) entre los trabajadores del automóvil que estuvieron expuestos ocupacionalmente en la ciudad de Mingora, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistán. Se estudiaron en detalle tres grupos diferentes de servicio de automóviles: recicladores de baterías, pintores en aerosol y mecánicos. Se recogieron un total de 40 muestras de sangre de grupos de trabajadores del automóvil, mientras que se recogieron 10 muestras de sangre como individuos de control de diferentes lugares del área de estudio. El grupo de reciclaje de baterías mostró los niveles de Pb más elevados ($5.45 \pm 2.11 \mu\text{g/dL}$), superando tanto a los del grupo de pintores con aerosol ($5.12 \pm 1.98 \mu\text{g/dL}$) como al grupo de mecánicos ($3.79 \pm 2.21 \mu\text{g/dL}$). Esto puede atribuirse a su mayor exposición a la contaminación por Pb resultante del deterioro, desmantelamiento, trituración o trituración de baterías viejas. En el contexto de la exposición al cromo (Cr), se observó una tendencia similar entre el grupo de reciclaje de baterías, así como entre los grupos de pintores y mecánicos. Sin embargo, en el caso del cadmio (Cd), el grupo de mecánicos presentó el mayor nivel de exposición ($4.45 \pm 0.65 \mu\text{g/dL}$), superando al grupo de reciclado de baterías ($1.17 \pm 0.45 \mu\text{g/dL}$) y al de pintores con aerosol ($1.35 \pm 0.69 \mu\text{g/dL}$), lo que se atribuyó a su mayor exposición a humos de soldadura y otras actividades en su lugar de trabajo.

En trabajadores de incineradores

La exposición a las sustancias químicas liberadas durante la eliminación y el tratamiento de residuos urbanos se considera cada vez más un posible problema de salud ocupacional. Varios metales tóxicos emitidos por un incinerador, incluidos As, Be, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni y V, tienen propiedades potencialmente tóxicas y, por lo tanto, su exposición puede ser motivo de preocupación para la salud de los trabajadores involucrados. En una revisión sistemática [40], de estudios que investigan metales tóxicos medidos en las principales matrices biológicas (sangre, orina, cabello) de los trabajadores de incineradores, los niveles de metales medidos en los trabajadores de las incineradoras son generalmente bajos, con algunas excepciones notables para el Cd y el Pb. Sin embargo, estos resultados pueden verse afectados por varios factores de confusión relacionados con la exposición no ocupacional, incluida la dieta, el área de residencia y otros, y/o por una serie de

limitaciones metodológicas, como encontramos en los estudios informados.

Termómetros

El sector de la salud contribuye de manera importante a la contaminación por mercurio (Hg) debido a la posible presencia de mercurio en termómetros, manguitos de presión arterial, amalgamas, etc. También existen otras fuentes potenciales de mercurio en este sector que se utilizan con frecuencia y en grandes volúmenes, donde la presencia del metal no es obvia y que podrían estar contribuyendo colectivamente a la contaminación, por ejemplo, algunas sustancias químicas utilizadas para el diagnóstico clínico de enfermedades pueden contener mercurio [41, 42].

Amalgamas dentales

Una fuente de plomo en Ecuador constituyen también las amalgamas dentales, también conocidas como rellenos de plata, son una mezcla de mercurio, plata, cobre, estaño y zinc que se utilizan para rellenar caries dentales. El mercurio en las amalgamas dentales se encuentra en forma metálica, que es poco tóxica, pero se evapora a 25°C y se convierte en vapor de mercurio, que es muy tóxico. Los rellenos de amalgama dental pueden liberar pequeñas cantidades de mercurio en forma de vapor, que pueden entrar al cuerpo por inhalación [43].

Medicinas

Dentro de los medicamentos fuera del cuadro básico destaca una de uso común los productos en base de algas como la *Espirulina*, ampliamente promocionada por su contenido de vitamina B12. Hasta el momento, el conocimiento sobre la contaminación con cianotoxinas, metales pesados, pesticidas o hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) es escaso, aunque algunos estudios reportaron altos niveles de contaminantes en productos de *espirulina*. La ingesta regular de *espirulina*, y muy probablemente también de otros productos derivados de algas, como suplemento dietético en gramos exige un seguimiento más estrecho de los componentes potencialmente nocivos [44]. También se han recibido reportes de medicamentos herbales tradicionales chinos contaminados con metales pesados [45], así como hierbas tradicionales con raíz de malvasisco (*Althaea officinalis* L., radix) de farmacias polacas [46]. El reporte de niveles de metales pesados en medicina "Ayurvédica" del sistema médico originario de la India con el objetivo de limpiar el cuerpo y restaurar el equilibrio mente – espíritu, ha reportado recurrentemente niveles alarmantes de casos por envenenamiento por metales pesados [47].

En plantas medicinales

En los medicamentos de origen vegetal se pueden encontrar metales pesados. En febrero de 2022, se recolectaron 28 muestras de medicamentos (sólidos y líquidos) de farmacias de Texas para investigar metales pesados como zinc, hierro y plomo. Los niveles de zinc, hierro y plomo (mg/kg) en muestras sólidas fueron 1.95-51.43, 29.09-2055.92 y ND-26.68, respectivamente, mientras que fueron 0.043-4.267, 0.100-5.25 y ND-1.434, respectivamente, en muestras líquidas. El valor promedio de riesgo total no canceroso (TNCR o HII) y riesgo total de cáncer (TCCR) de la ingesta de metales pesados en muestras sólidas fue $4.54E - 03 \pm 1.1E - 03$ y $2.11E - 06 \pm 6.0E - 07$, mientras que en muestras líquidas fueron $1.98E - 04 \pm 4.1E - 05$ y $9.44E - 09 \pm 2.3E - 09$, respectivamente. En comparación con las muestras líquidas, las muestras sólidas tienen mayores concentraciones de metales pesados. Las concentraciones de zinc, hierro y plomo en las muestras líquidas fueron inferiores a los estándares aceptables por la OMS de 50, 20 y 10 mg/kg, respectivamente. Por otro lado, pocos resultados de muestras sólidas son más que aceptables. Sin embargo, los resultados de TNCR y TCCR de todos los especímenes estuvieron dentro de los límites recomendados globalmente por la EPA de EE. UU. Finalmente, los resultados de los metales pesados no muestran riesgos para la salud asociados con el uso de los medicamentos investigados [48].

Ingesta de productos animales contaminados

Cuando uno de estos metales pesados se libera al aire, al agua o al suelo, puede ser absorbido por plantas y cultivos, consumido por el ganado y los peces y, finalmente, ser ingerido por los humanos de forma involuntaria al cerrar la cadena alimenticia [49, 50].

Sangre de donantes

El riesgo de intoxicación por metales pesados procedente de sangre de donantes ha sido objeto de numerosas investigaciones científicas. La evidencia de los estudios científicos da credibilidad al riesgo de intoxicación por metales pesados de donantes con altas concentraciones sanguíneas de metales pesados. El riesgo de toxicidad es excepcionalmente alto en poblaciones vulnerables como recién nacidos y bebés prematuros, así como en mujeres embarazadas y otras personas con condiciones que requieren múltiples transfusiones de sangre. Esto es peor en los países en desarrollo donde algunos miembros de la población participan en actividades ilegales de refinación y minería artesanal [51].

Balas retenidas

La toxicidad por plomo secundaria a balas retenidas después de una herida de bala penetrante es una afección rara pero probablemente infradiagnosticada, dado el número sustancial de lesiones por armas de fuego. En una revisión sistemática de 142 artículos sobre la toxicidad sistémica del plomo secundaria a las balas retenidas en pacientes, varios factores parecen aumentar el riesgo de desarrollar toxicidad por plomo, incluida la ubicación de la bala, la presencia de una fractura o traumatismo reciente, la cantidad de fragmentos, los estados hipermetabólicos y la duración de la retención de la bala. En particular, las balas ubicadas dentro de un compartimento de fluido corporal como un espacio intraarticular parecen tener un riesgo sustancialmente mayor de desarrollar toxicidad por plomo. Aunque los pacientes con toxicidad por plomo procedente de balas retenidas tenían síntomas similares a los pacientes con toxicidad por plomo procedente de otras fuentes, el diagnóstico de intoxicación por plomo puede ocurrir meses o años después de una herida de bala. Los pacientes sintomáticos con niveles elevados de plomo en sangre tendieron a mejorar con una combinación de quelación y extirpación quirúrgica de las balas retenidas [52].

Contaminación por efluentes industriales y minería

Algunos métodos están disponibles para remover efectivamente metales pesados de aguas residuales de industrias [53], sin embargo en países en vías de desarrollo hay limitaciones en industrias informales de minería ilegal [54].

El aceite residual producto del cárter de automóviles

En un metanálisis de las implicaciones toxicológicas asociadas con la exposición de humanos y animales de laboratorio al aceite de cárter gastado, se analizan 28 estudios y 14 se usaron para el metanálisis, que incluyó 1243 sujetos. El metanálisis reveló que la exposición al aceite residual del carter provocó una reducción significativa en el peso corporal de los animales ($n = 5$, DME; -1.2 ; IC del 95%; $(-1.78, -0.67)$, $P = 0.0001$, $I^2 = 22\%$), y en el recuento de glóbulos rojos ($n = 5$, DME; -1.28 ; IC 95%; $(-2.18, -0.38)$, $P = 0.02$; $I^2 = 78\%$) y hemoglobina ($n = 4$, DME; -1.12 , IC 95% $(-2.71, 0.46)$; $P = 0.16$; $I^2 = 89\%$) en modelos animales. Si bien hubo una elevación significativa de la aspartato aminotransferasa (AST) ($n = 6$, DME; 0.76 ; IC95%; $(0.41, 1.11)$, $P = 0.0001$, $I^2 = 89\%$), fosfatasa alcalina (ALP) ($n = 5$, DME; 1.92 ; IC del 95%; $(0.02, 3.83)$, $P = 0.05$, $I^2 = 92\%$), y creatinina ($n = 4$, DME = 1.56 ; IC del 95%; $(0.05, 3.07)$, $P = 0.04$, $I^2 = 90\%$) en comparación con el control. Por otro lado, hubo un efecto no significativo sobre la alanina aminotransferasa (ALT) ($n = 5$, DME; 1.13 ;

IC del 95%; $(-0.37, 2.62)$; $P = 0.14$; $I^2 = 92\%$), urea ($n = 4$, DME; 1.23 ; IC del 95 %; $(-1.18, 3.65)$, $P = 0.32$, $I^2 = 94\%$), volumen concentrado de células (PCV) ($n = 5$, DME; 0.10 ; IC del 95 %; $(-0.36, 0.56)$, $P = 0.67$; $I^2 = 47\%$); y las concentraciones de hemoglobina ($n = 6$; DME; -0.74 ; IC del 95%; $(-1.73, 0.26)$, $P = 0.15$; $I^2 = 89\%$). En la lista de hallazgos también se encuentran el estrés oxidativo, la bioacumulación de metales pesados y los efectos inmunotóxicos, genotóxicos y cancerígenos [55].

El reciclaje de residuos electrónicos

El reciclaje de residuos electrónicos puede liberar metales pesados al medio ambiente y provocar efectos adversos para la salud. En un estudio que evalúa la asociación entre la exposición a metales pesados provenientes del reciclaje de desechos electrónicos y la prevalencia del asma en un estudio de casos y controles anidado de 51 pares de sujetos con y sin asma. Se recogió polvo doméstico, polvo en suspensión, sangre y orina de residentes de dos sitios vecinos en la provincia de Ubon Ratchathani, Tailandia. En el primer sitio se llevan a cabo múltiples actividades de manejo de desechos electrónicos, mientras que el segundo sitio es principalmente agrícola. Las concentraciones de cromo, mercurio, níquel y plomo en el polvo doméstico y en el aire fueron mayores en el sitio de manipulación de desechos electrónicos ($P < 0.05$), pero los niveles de exposición fueron similares en sujetos con y sin asma [56]. En una revisión sistemática se incluyeron 20 estudios Chinos realizados en áreas de reciclaje de desechos electrónicos. Los estudios incluidos se realizaron con un grupo expuesto versus un grupo de referencia. La mayoría de los estudios incluidos encontraron que los niveles de Pb en sangre eran $\geq 5 \mu\text{g}/\text{dl}$ y que la exposición al Pb de los desechos electrónicos estaba afectando la salud de los niños como resultado del reciclaje informal de desechos electrónicos, como una disminución en los niveles de cortisol sérico, inhibición de la síntesis de hemoglobina, impacto en el desarrollo neuroconductual, efecto desarrollo físico, etc. [57].

En pinturas para niños

Los metales pesados debido a sus propiedades físicas y químicas, todavía se utilizan en la producción de varios productos comerciales. El uso de tales productos aumenta la posibilidad de exposición a metales pesados; algunos de ellos están clasificados como probables carcinógenos humanos (Grupo 1) por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. La exposición de los escolares a metales pesados a una edad temprana puede provocar problemas de salud graves durante toda la vida y una alta probabilidad de aparición de cáncer. En un estudio [58] se determinó la presencia de metales

pesados \en las pinturas de colores acrílicos utilizadas habitualmente por los escolares. Se analizaron pinturas acrílicas de diferentes colores para detectar siete posibles metales pesados: manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), zinc (Zn), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb). Los elementos fueron identificados en todas las muestras analizadas con concentraciones que oscilaron entre 0.05 y 372.59 µg/g. El Cd constituye el porcentaje más bajo (0.05%), mientras que el Zn constituye la contribución del ratio alto, que fue tremendamente alto (68.33%). Además, la contaminación de las pinturas también fue específica del color, con concentraciones totales considerables de metales pesados encontradas en el color marrón oscuro (526.57 µg/g), mientras que el color escarlata (12.62 µg/g) contenía cantidades más bajas.

Cosméticos

Se han reportado elementos tóxicos en la cosmética ocular tradicional a base de Kohl en los mercados español y alemán. Los niveles recomendados por la Unión Europea son Pb < 20 ppm, As < 5 ppm, Cd < 5 ppm, Sb < 100 ppm y Ni < 200 ppm. En Alemania, los niveles son más restrictivos: Pb < 2 ppm, As < 0,5 ppm, Cd < 0,1 ppm, Sb < 0,5 ppm y Ni < 10 ppm. Los niveles de Pb oscilaron entre 1,7 y 410.000 ppm en seis de las muestras del estudio, cuatro de las cuales tenían niveles superiores al límite recomendado de al menos dos metales pesados [59].

Otro estudio realizado en Arabia Saudita se testearon 31 productos de productos cosméticos de uso común (crema para el cabello, crema de belleza, crema para la piel, fórmula alimenticia para el cabello, gel para el cabello, exfoliante blanqueador diario, champú, gel de ducha, cuidado corporal, loción corporal, lavado de manos, uso diario, productos de belleza, crema de afeitar, pasta de dientes, jabón de belleza y germen y jabón en crema). Según las concentraciones máximas, los contenidos de metales pesados se ordenaron en el siguiente orden decreciente: Al > Cu > Mn > Pb > Cr > Ni > Hg > Co > As > Cd en productos de crema, Al > Pb > Cu > Cr > Mn > Ni > Hg > As > Co > Cd en productos de champú, Al > Cu > Pb > Cr > Mn > Ni > As > Co > Hg > Cd en productos de jabón, y Al > Cu > Mn > Pb > Cr > Co > Ni > Cd > As > Hg en productos de pasta de dientes [60]. El mercado Palestino de cosméticos también está contaminado con productos que exceden el límite para Cadmio (9.5 ± 2.3 ppm), Cu (33.8 ± 9.2 ppm), y Zn (151.0 ± 7.4 ppm) [61]. En una revisión sistemática [62] se encontró 16 publicaciones que midieron los niveles de metales pesados como plomo, cadmio, hierro, níquel, cromo y mercurio en diversas muestras cosméticas que fueron publicadas entre los años 2012 y 2020. Los hallazgos del estudio respaldan la existencia de

estos metales como contaminantes o componentes de cosméticos, los cuales plantean riesgos sustanciales para la salud, sin embargo las regulaciones y los límites aceptables varían entre los diferentes países, lo que representa un desafío importante para la industria cosmética.

En productos para aclarar la piel

El Convenio de Minamata sobre el Mercurio prohíbe la fabricación, importación o exportación de productos para aclarar la piel que contengan concentraciones de mercurio superiores 1 ppm, sin embargo, existe una falta de conocimiento sobre la prevalencia mundial de productos para aclarar la piel con mercurio añadido. En una búsqueda sistemática se incluyeron 41 artículos de 22 países entre el 2000 y 2022. En total, se capturó valores de concentración de mercurio de 787 muestras de productos para aclarar la piel, el nivel medio central combinado general de mercurio fue 0.49 µg/gramo; rango intercuartil (IQR): 0.02-5.9. Se compilaron 1.042 mediciones de biomarcadores humanos de 863 individuos. También sintetizamos información sobre el uso de 3898 personas y los impactos en la salud autoinformados asociados con el uso de productos con mercurio añadido de 832 personas. Esta revisión sugiere que el mercurio continúa siendo ampliamente un ingrediente activo en muchos productos para aclarar la piel en todo el mundo y que los usuarios corren el riesgo de sufrir exposiciones variables y, a menudo, altas [63].

En tinta de tatuajes

Hoy en día, los tatuajes se han vuelto muy populares entre personas de todo el mundo. Los tatuadores, con la ayuda de pequeñas agujas, colocan la tinta del tatuaje dentro de la superficie de la piel e introducen sin querer una gran cantidad de ingredientes desconocidos. Estos ingredientes incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados y aminas aromáticas primarias, que se introducen involuntariamente junto con la tinta o se producen dentro de la piel mediante diferentes tipos de procesos, por ejemplo, escisión, metabolismo y fotodescomposición. Estos podrían plantear riesgos toxicológicos para la salud humana, si están presentes más allá de los límites permisibles. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos como el benzo(a)pireno están presentes en la tinta de negro de humo. Las aminas aromáticas primarias podrían formarse dentro de la piel como resultado de la escisión reductora de colorantes azoicos orgánicos. Las agencias de protección ambiental informan que son altamente cancerígenos. Los metales pesados, a saber, cadmio, plomo, mercurio, antimonio, berilio y arsénico, son responsables del cáncer, enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares,

gastrointestinales, pulmonares, renales, hepáticas, endocrinas y óseas. El mercurio, el sulfato de cobalto, otras sales solubles de cobalto y el negro de humo pertenecen al grupo 2B, lo que significa que pueden causar cáncer en los seres humanos. El cadmio y sus compuestos, por el contrario, pertenecen al grupo 1 (cancerígenos para el ser humano) [64].

En impresiones de camisetas

Los metales pesados se utilizan a menudo en diferentes procesos textiles, como el teñido y el estampado. Cuando los elementos tóxicos están presentes en cantidades superiores a las recomendadas en los materiales textiles, pueden suponer un riesgo potencial para la salud humana por absorción a través de la piel. En un estudio, se analizaron las concentraciones de algunos metales pesados (Co, Cu, Cr, Cd y Pb) en camisetas que se decoloran por contacto con la piel, impresas para un programa especial en la ciudad de Mettu. Se encontraron altos niveles de Cu en camisetas de color negro, verde, azul y rojo, que oscilaban entre 26.726 y 179.315 mg/kg. Cr superó los límites recomendados en la mayoría de las muestras de camisetas y se presentó principalmente en los colores amarillo, negro y azul. Se encontró que los niveles de Cd estaban dentro de los rangos normales. Sin embargo, todas las muestras de camisetas tenían niveles bajos de cobalto, que oscilaban entre 1.33 ± 2.13 y 3.94 ± 0.21 . Se encontró que las concentraciones máximas de plomo eran 3.40 ± 0.19 mg/kg para muestras de color rojo y 2.71 ± 0.13 mg/kg para muestras de color azul. En esta investigación, las concentraciones de Pb, Cu y Cr en muestras de camisetas de colores rojo y verde estaban por encima del valor estándar sugerido por OEKO Tex [65].

En envases desechables de alimentos

El uso de materiales desechables está en auge con el rápido desarrollo de la urbanización y la industrialización, lo que inevitablemente puede provocar la liberación de sustancias tóxicas y nocivas durante su uso en la vida diaria. En un estudio [66] se descubrió que se liberaba una gran cantidad de metales de los recipientes de alimentos desechables en agua caliente, y el orden de concentración del metal es $Zn > Ba > Fe > Mn > Ni > Cu > Sb > Cr > Se > Be > Pb > Co > V > Cd$. Además, el cociente de riesgo (HQ) de los metales en adultos jóvenes fue inferior a 1 y disminuyó en el orden de $Sb > Fe > Cu > Be > Ni > Cr > Pb > Zn > Se > Cd > Ba > Mn > V > Co$. Además, los resultados del exceso de riesgo de cáncer de por vida (ELCR) del Ni y el Be indicaron que la exposición crónica al Ni y al Be puede tener un riesgo carcinogénico no despreciable. Estos hallazgos sugieren que puede existir un riesgo potencial para la salud asociado a metales

para las personas que usan recipientes de alimentos desechables en ambientes de alta temperatura [66].

En juguetes y joyería infantil

La contaminación por metales pesados en juguetes y joyas infantiles es un desafío constante en diferentes países. Estos contaminantes pueden ingresar al cuerpo de los niños por vía oral, dérmica y respiratoria. En una revisión sistemática de estudios de contaminación en juguetes y joyas para niños en 15 países, incluidos el Reino Unido, Arabia Saudita, Camboya, China, Kosovo, Nigeria, América del Norte, Kazajistán, Emiratos Árabes Unidos, Pakistán, Irak, Israel, Cisjordania/Palestina, República Checa y Turquía. Se concluye que los juguetes y joyas infantiles de plástico o metálicos siguen presentando la contaminación por elementos tóxicos más grave y la existencia de plomo (Pb), níquel (Ni), cadmio (Cd), arsénico (As), mercurio (Hg), cromo (Cr), cobre (Cu), selenio (Se), bario (Ba), zinc (Zn), cobalto (Co), manganeso (Mn), bisfenol A, ftalatos, parabenos, colorantes azoicos y retardantes de llama se ha considerado como un desafío constante [67].

Conclusiones

Los metales pesados, están presente en diferentes formas y al alcance de la población. Se destaca la importancia de la contaminación del suelo como fuente principal de intoxicación por metales pesados a través de la ingesta de alimentos, especialmente arroz, trigo y carnes.

Referencias

1. Rahman Z, Singh VP. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environ Monit Assess*. 2019 Jun 8;191(7):419. doi: 10.1007/s10661-019-7528-7. PMID: 31177337. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7528-7>
2. He Y, Men B, Yang X, Li Y, Xu H, Wang D. Investigation of heavy metals release from sediment with bioturbation/bioirrigation. *Chemosphere*. 2017 Oct;184:235-243. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.177. Epub 2017 Jun 2. PMID: 28599152. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653517308299>
3. Pozo-Miranda F. Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en estuario del río Chone Manabí, Ecuador. *Revista Científica UNEMI* 2017;10(24):123-130. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6430728>
4. De la Cueva F, Naranjo A, Puga B, Aragon E. Presencia de metales pesados en leche cruda bobina de Machachi, Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 2021;33(1):21-30. <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.02> <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/33.2021.02>

5. Muyulema-Allaica J, Canga-Castillo S, Pucha-Medina P, Espinosa-Ruiz C. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM)-Ecuador. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* 2021;7(41):40-61. <https://www.scielo.org.mx/pdf/riiit/v7n41/2007-9753-riiit-7-41-40.pdf>
6. Domellöf M. Microminerals: Iron, Zinc, Copper, Selenium, Manganese, Iodine, Chromium and Molybdenum. *World Rev Nutr Diet*. 2021;122:140-148. doi: 10.1159/000514738. Epub 2021 Aug 5. PMID: 34352754. <https://karger.com/books/book/128/chapter-abstract/5066488/Microminerals-Iron-Zinc-Copper-Selenium-Manganese?redirectedFrom=fulltext>
7. Kemnic TR, Coleman M. Thallium Toxicity. 2023 Jul 10. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 30020612. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513240/>
8. Mao Y, Tan H, Wang M, Jiang T, Wei H, Xu W, Jiang Q, Bao H, Ding Y, Wang F, Zhu C. Research Progress of Soil Microorganisms in Response to Heavy Metals in Rice. *J Agric Food Chem*. 2022 Jul 20;70(28):8513-8522. doi: 10.1021/acs.jafc.2c01437. Epub 2022 Jul 11. PMID: 35816106. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.2c01437>
9. Chang C, Yin R, Zhang H, Yao L. Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil-Rice System in a Typical Seleniferous Area in Central China. *Environ Toxicol Chem*. 2019 Jul;38(7):1577-1584. doi: 10.1002/etc.4443. Epub 2019 Jun 21. PMID: 30994945. <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.4443>
10. Deng Y, Jiang L, Xu L, Hao X, Zhang S, Xu M, Zhu P, Fu S, Liang Y, Yin H, Liu X, Bai L, Jiang H, Liu H. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in contaminated paddy fields - A case study in Xiangtan City, southern China. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019 Apr 30;171:281-289. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.12.060. Epub 2019 Jan 3. PMID: 30612016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.060>
11. Jalali M, Imanifard A, Jalali M. Heavy metals accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) roots and shoots grown in calcareous soils treated with non-spiked and spiked sewage sludge. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023 Feb;30(8):20862-20873. doi: 10.1007/s11356-022-23604-6. Epub 2022 Oct 19. PMID: 36260228. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-23604-6>
12. Qin C, Wang X, Du L, Yang L, Jiao Y, Jiang D, Zhang X, Zhang T, Gao X. Heavy metals in meat products from Shandong, China and risk assessment. *Food Addit Contam Part B Surveill*. 2024 Mar;17(1):56-65. doi: 10.1080/19393210.2023.2286008. Epub 2024 Feb 12. PMID: 38093555. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19393210.2023.2286008>
13. Mohamed NH, Yahya G, El Bayoumi RM, Hussein MAM, Cavalu S, Dahshan H, Alsayeqh AF, Darwish WS, Nasr EAA. Detection and health risk assessment of toxic heavy metals in chilled and frozen meat collected from Sharkia province in Egypt. *Open Vet J*. 2023 Dec;13(12):1729-1737. doi: 10.5455/OVJ.2023.v13.i12.21. Epub 2023 Dec 31. PMID: 38292728; PMCID: PMC10824086. <https://www.ejmanager.com/mnsteps/100/100-1703024877.pdf?t=1722121214>
14. Dang TT, Vo TA, Duong MT, Pham TM, Van Nguyen Q, Nguyen TQ, Bui MQ, Syrbu NN, Van Do M. Heavy metals in cultured oysters (*Saccostrea glomerata*) and clams (*Meretrix lyrata*) from the northern coastal area of Vietnam. *Mar Pollut Bull*. 2022 Nov;184:114140. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.114140. Epub 2022 Sep 21. PMID: 36152497. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X22008220?via%3Dihub>
15. Dehghani M, Sharifian S, Taherizadeh MR, Nabavi M. Tracing the heavy metals zinc, lead and nickel in banana shrimp (*Penaeus merguensis*) from the Persian Gulf and human health risk assessment. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021 Aug;28(29):38817-38828. doi: 10.1007/s11356-021-13063-w. Epub 2021 Mar 20. PMID: 33745043. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13063-w>
16. Stanek M, Dąbrowski J, Róžański S, Janicki B, Długosz J. Heavy Metals Bioaccumulation in Tissues of Spiny-Cheek Crayfish (*Orconectes limosus*) from Lake Gopło: Effect of Age and Sex. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2017 Jun;98(6):740-746. doi: 10.1007/s00128-017-2098-2. Epub 2017 May 5. PMID: 28477051; PMCID: PMC5429899. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-017-2098-2>
17. Jiang H, Tang S, Qin D, Chen Z, Wang J, Bai S, Mou Z. Heavy metals in sea cucumber juveniles from coastal areas of Bohai and Yellow seas, north China. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2015 May;94(5):577-82. doi: 10.1007/s00128-014-1432-1. Epub 2014 Nov 25. PMID: 25421712. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-014-1432-1>
18. Morshdy AEMA, Tharwat AE, Maarouf H, Moustafa M, Darwish WS, El-Ghareeb WR, Alsayeqh AF, Mustafa NA. Heavy metal contents in salted fish retailed in Egypt: Dietary intakes and health risk assessment. *Open Vet J*. 2023 Dec;13(12):1738-1743. doi: 10.5455/OVJ.2023.v13.i12.22. Epub 2023 Dec 31. PMID: 38292718; PMCID: PMC10824094. <https://www.ejmanager.com/mnsteps/100/100-1703101871.pdf?t=1722336912>
19. Aski MAH, Ghobadi S, Sari AA, Ardeshtir RA, Arabi MHG, Manouchehri H. Health risk assessment of heavy metals (Zn, Pb, Cd, and Hg) in water and muscle tissue of farmed carp species in North Iran. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023 Mar;30(12):32464-32472. doi: 10.1007/s11356-022-24043-z. Epub 2022 Dec 3. Erratum in: *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023 Mar;30(12):32473. doi: 10.1007/s11356-023-25425-7. PMID: 36462077. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-24043-z>
20. Lin C, Chen J, Xu J, Li Y, Liu Y, Lin H. Distribution and risk assessment of heavy metals in the economic fish of the Southern Fujian Province. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2022 May;92:103834. doi: 10.1016/j.etap.2022.103834. Epub 2022 Feb 26. PMID: 35227884. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668922000278?via%3Dihub>
21. Ansel MA, Benamar N. Accumulation of heavy metals in muscle, liver, and gonads of little tunny (*Euthynnus alletteratus*) from the western region of Algeria. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018 Nov;25(32):32640-32648. doi: 10.1007/s11356-018-3254-x. Epub 2018 Sep 21. PMID: 30242657. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-3254-x>
22. Shuhaimi-Othman M, Yakub N, Ramle NA, Abas A. Comparative toxicity of eight metals on freshwater fish. *Toxicol Ind Health*. 2015 Sep;31(9):773-82. doi: 10.1177/0748233712472519. Epub 2013 Jan 9. PMID: 23302712. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0748233712472519>
23. Boudebbouz A, Boudalia S, Bousbia A, Habila S, Boussadia MI, Gueroui Y. Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *Sci Total Environ*. 2021 Jan 10;751:141830. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141830. Epub 2020 Aug

21. PMID: 33182002. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720353596?via%3Dihub>
24. Alinezhad Z, Hashemi M, Tavakoly Sany SB. Concentration of heavy metals in pasteurized and sterilized milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *PLoS One*. 2024 Feb 5;19(2):e0296649. doi: 10.1371/journal.pone.0296649. PMID: 38315713; PMCID: PMC10843077. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0296649>
25. Yan M, Niu C, Li X, Wang F, Jiang S, Li K, Yao Z. Heavy metal levels in milk and dairy products and health risk assessment: A systematic review of studies in China. *Sci Total Environ*. 2022 Dec 10;851(Pt 1):158161. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158161. Epub 2022 Aug 19. PMID: 35988597. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722052603?via%3Dihub>
26. Hasanvand S, Hashami Z, Zarei M, Merati S, Bashiry M, Nag R. Is the milk we drink safe from elevated concentrations of prioritised heavy metals/metalloids? - A global systematic review and meta-analysis followed by a cursory risk assessment reporting. *Sci Total Environ*. 2024 Jul 23;948:175011. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175011. Epub ahead of print. PMID: 39053561. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724051611?via%3Dihub>
27. Mukhtar H, Chan CY, Lin YP, Lin CM. Assessing the association and predictability of heavy metals in avian organs, feathers, and bones using crowdsourced samples. *Chemosphere*. 2020 Aug;252:126583. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126583. Epub 2020 Mar 23. PMID: 32443269. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520307761?via%3Dihub>
28. Rahmani J, Fakhri Y, Shahsavani A, Bahmani Z, Urbina MA, Chirumbolo S, Keramati H, Moradi B, Bay A, Björklund G. A systematic review and meta-analysis of metal concentrations in canned tuna fish in Iran and human health risk assessment. *Food Chem Toxicol*. 2018 Aug;118:753-765. doi: 10.1016/j.fct.2018.06.023. Epub 2018 Jun 18. PMID: 29913231. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691518303971?via%3Dihub>
29. Aazami J, KianiMehr N. Survey of heavy metals in internal tissues of Great cormorant collected from southern wetlands of Caspian Sea, Iran. *Environ Monit Assess*. 2017 Dec 29;190(1):52. doi: 10.1007/s10661-017-6433-1. PMID: 29288418. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-6433-1>
30. Ding J, Wang S, Yang W, Zhang H, Yu F, Zhang Y. Tissue distribution and association of heavy metal accumulation in a free-living resident passerine bird tree sparrow *Passer montanus*. *Environ Pollut*. 2023 Jan 1;316(Pt 1):120547. doi: 10.1016/j.envpol.2022.120547. Epub 2022 Nov 4. PMID: 36343853. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120547>
31. Tanabe LK, Scott K, Dasari V, Berumen ML. An assessment of heavy metals in green sea turtle (*Chelonia mydas*) hatchlings from Saudi Arabia's largest rookery, Ras Baridi. *PeerJ*. 2022 Aug 23;10:e13928. doi: 10.7717/peerj.13928. PMID: 36032942; PMCID: PMC9415434. <https://peerj.com/articles/13928/>
32. Aarif KM, Rubeena KA, Nefla A, Musilova Z, Musil P, Shaju SS, Joseph J, Mullungal MN, Muzaffar SB. Heavy metals in wetlands of southwestern India: from sediments through invertebrates to migratory shorebirds. *Chemosphere*. 2023 Dec;345:140445. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140445. Epub 2023 Oct 18. PMID: 37863211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653523027157?via%3Dihub>
33. Huang F, Chen C. GIS-based approach and multivariate statistical analysis for identifying sources of heavy metals in marine sediments from the coast of Hong Kong. *Environ Monit Assess*. 2023 Mar 28;195(4):518. doi: 10.1007/s10661-023-11152-6. PMID: 36976384. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-11152-6>
34. Li W, Deng Y, Wang H, Hu Y, Cheng H. Potential risk, leaching behavior and mechanism of heavy metals from mine tailings under acid rain. *Chemosphere*. 2024 Feb;350:140995. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140995. Epub 2023 Dec 19. PMID: 38128738. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140995>
35. Luo H, Wang Q, Guan Q, Ma Y, Ni F, Yang E, Zhang J. Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. *J Hazard Mater*. 2022 Jan 15;422:126878. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126878. Epub 2021 Aug 11. PMID: 34418825. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438942101846X?via%3Dihub>
36. Shen H, Lou B, Liu B, Zhang J, Zhang X, Liu J, Zhang R, Chen M, Zhang S. Reduction of heavy metals in municipal solid waste incineration fly ash followed by making transparent glass. *Waste Manag*. 2024 Jun 30;183:184-190. doi: 10.1016/j.wasman.2024.05.008. Epub 2024 May 17. PMID: 38759276. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X24002940?via%3Dihub>
37. Roy S, Gupta SK, Prakash J, Habib G, Kumar P. A global perspective of the current state of heavy metal contamination in road dust. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022 May;29(22):33230-33251. doi: 10.1007/s11356-022-18583-7. Epub 2022 Jan 13. PMID: 35022986. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-18583-7>
38. Sepahi Zoeram F, Ebrahimi AA, Mehrparvar AH, Sarsangi Aliabad A, Fallah Zadeh H, Mehri H, Zare Sakhvidi MJ. Health risk assessment of inhalational exposure to heavy metals in drivers working in an urban desert city in the Middle East. *Environ Monit Assess*. 2022 Jun 28;194(8):533. doi: 10.1007/s10661-022-10234-1. PMID: 35763174. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-10234-1>
39. Khan K, Room SA, Bacha AU, Nabi I, Ahmad S, Younas M, Ullah Z, Iqbal A, Alrefa'i AF, Almutairi MH, Chang JW, Chi KH. Assessment of heavy metals among auto workers in metropolitan city: a case study. *Front Public Health*. 2023 Nov 7;11:1277182. doi: 10.3389/fpubh.2023.1277182. PMID: 38026331; PMCID: PMC10662099. <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1277182/full>
40. Mauriello MC, Sbordone C, Montuori P, Alfano R, Triassi M, Iavicoli I, Manno M. Biomonitoring of toxic metals in incinerator workers: A systematic review. *Toxicol Lett*. 2017 Apr 15;272:8-28. doi: 10.1016/j.toxlet.2017.02.021. Epub 2017 Mar 1. PMID: 28257910. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378427417300802?via%3Dihub>
41. Alvarez-Chavez CR, Federico-Perez RA, Gomez-Alvarez A, Velazquez-Contreras LE, Perez-Rios R. Hidden sources of mercury in clinical laboratories. *Environ Monit Assess*. 2014 Sep;186(9):5393-400. doi: 10.1007/s10661-014-3787-5. Epub 2014 May 11. PMID: 24816591. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-014-3787-5>

42. Erfantalab P, Zamani N, Hassanian-Moghaddam H. Broken thermometer in foot: a source of mercury poisoning. *Trop Doct.* 2020 Jan;50(1):83-84. doi: 10.1177/0049475519884419. Epub 2019 Nov 6. PMID: 31694474. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0049475519884419>
43. Jirau-Colón H, González-Parrilla L, Martínez-Jiménez J, Adam W, Jiménez-Velez B. Rethinking the Dental Amalgam Dilemma: An Integrated Toxicological Approach. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 Mar 22;16(6):1036. doi: 10.3390/ijerph16061036. PMID: 30909378; PMCID: PMC6466133. <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/6/1036>
44. Grosshagauer S, Kraemer K, Somoza V. The True Value of Spirulina. *J Agric Food Chem.* 2020 Apr 8;68(14):4109-4115. doi: 10.1021/acs.jafc.9b08251. Epub 2020 Mar 25. PMID: 32133854. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.9b08251>
45. Chui SH, Wong YH, Chio HI, Fong MY, Chiu YM, Szeto YT, Vong WT, Lam CW. Study of heavy metal poisoning in frequent users of Chinese medicines in Hong Kong and Macau. *Phytother Res.* 2013 Jun;27(6):859-63. doi: 10.1002/ptr.4816. Epub 2012 Aug 16. PMID: 22899484. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.4816>
46. Jurowski K, Krośniak M. The Toxicological Assessment of Content and Exposure of Heavy Metals (Pb and Cd) in Traditional Herbal Medicinal Products with Marshmallow Root (*Althaea officinalis* L., radix) from Polish Pharmacies. *Toxics.* 2022 Apr 13;10(4):188. doi: 10.3390/toxics10040188. PMID: 35448449; PMCID: PMC9028009. <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/4/188>
47. Sikder MM. Ayurvedic Medicine: A Traditional Medical System and Its Heavy Metal Poisoning. *Chonnam Med J.* 2024 May;60(2):97-104. doi: 10.4068/cmj.2024.60.2.97. Epub 2024 May 24. PMID: 38841605; PMCID: PMC11148304. <https://cmj.ac.kr/DOIx.php?id=10.4068/cmj.2024.60.2.97>
48. Lawi DJ, Abdulwhaab WS, Abojassim AA. Health Risk Study of Heavy Metals from Consumption of Drugs (Solid and Liquid) Samples Derived from Medicinal Plants in Iraq. *Biol Trace Elem Res.* 2023 Jul;201(7):3528-3540. doi: 10.1007/s12011-022-03408-y. Epub 2022 Sep 3. PMID: 36057033. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-022-03408-y>
49. Anual ZF, Ahmad NI, Anak Robun C, Ahmad Suhaimi LR, Surawi NH, Sudin K, Mustafa AF, Zainudeen AAH, Mohd Zaini S, Mamat NA. Heavy metals in offal and canned food sold in the Malaysian market. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2023 Dec;40(12):1589-1599. doi: 10.1080/19440049.2023.2272726. Epub 2023 Dec 13. PMID: 37883683. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19440049.2023.2272726>
50. Kumar P, Dipti, Kumar S, Singh RP. Severe contamination of carcinogenic heavy metals and metalloids in agroecosystems and their associated health risk assessment. *Environ Pollut.* 2022 May 15;301:118953. doi: 10.1016/j.envpol.2022.118953. Epub 2022 Feb 16. PMID: 35182654. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749122001671>
51. Ofori SJ, Orish CN, Chidi Eze E, Frazzoli C, Orisakwe OE. Blood donation and heavy metal poisoning in developing nations: Any link? *Transfus Apher Sci.* 2021 Apr;60(2):103067. doi: 10.1016/j.transci.2021.103067. Epub 2021 Jan 29. PMID: 33541762. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1473050221000173>
52. Kershner EK, Tobarran N, Chambers A, Wills BK, Cumpston KL. Retained bullets and lead toxicity: a systematic review. *Clin Toxicol (Phila).* 2022 Oct;60(10):1176-1186. doi: 10.1080/15563650.2022.2116336. Epub 2022 Sep 8. PMID: 36074021. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15563650.2022.2116336>
53. Al-Ansari MM, Benabdelkamel H, AlMalki RH, Abdel Rahman AM, Alnahmi E, Masood A, Ilavenil S, Choi KC. Effective removal of heavy metals from industrial effluent wastewater by a multi metal and drug resistant *Pseudomonas aeruginosa* strain RA-14 using integrated sequencing batch reactor. *Environ Res.* 2021 Aug;199:111240. doi: 10.1016/j.envres.2021.111240. Epub 2021 May 8. PMID: 33974838. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001393512100534X>
54. Marshall BG, Veiga MM, da Silva HAM, Guimarães JRD. Cyanide Contamination of the Puyango-Tumbes River Caused by Artisanal Gold Mining in Portovelo-Zaruma, Ecuador. *Curr Environ Health Rep.* 2020 Sep;7(3):303-310. doi: 10.1007/s40572-020-00276-3. PMID: 32506189. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-020-00276-3>
55. Bekibele GE, Anacleto FC, Patrick-Iwuanyanwu KC. The toxic effects of spent crankcase oil exposures: systematic review and meta-analysis. *Toxicol Res.* 2021 Apr 20;38(2):113-135. doi: 10.1007/s43188-021-00093-2. PMID: 35419273; PMCID: PMC8960553. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43188-021-00093-2>
56. Kuntawee C, Tantrakarnapa K, Limpanont Y, Lawpoolsri S, Phetrak A, Mingkhwan R, Worakhunpiset S. Exposure to Heavy Metals in Electronic Waste Recycling in Thailand. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Apr 26;17(9):2996. doi: 10.3390/ijerph17092996. PMID: 32357423; PMCID: PMC7246830. <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/9/2996>
57. Desye B, Tesfaye AH, Berihun G, Ademas A, Sewunet B. A systematic review of the health effects of lead exposure from electronic waste in children. *Front Public Health.* 2023 Apr 12;11:113561. doi: 10.3389/fpubh.2023.1113561. PMID: 37124790; PMCID: PMC10130399. <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1113561/full>
58. Khan MR, Ahmad N, Ouladsmame M, Azam M. Heavy Metals in Acrylic Color Paints Intended for the School Children Use: A Potential Threat to the Children of Early Age. *Molecules.* 2021 Apr 19;26(8):2375. doi: 10.3390/molecules26082375. PMID: 33921808; PMCID: PMC8073559. <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/8/2375>
59. Navarro-Tapia E, Serra-Delgado M, Fernández-López L, Meseguer-Gilabert M, Falcón M, Sebastiani G, Sailer S, Garcia-Algar O, Andreu-Fernández V. Toxic Elements in Traditional Kohl-Based Eye Cosmetics in Spanish and German Markets. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jun 5;18(11):6109. doi: 10.3390/ijerph18116109. PMID: 34198922; PMCID: PMC8201171. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/11/6109>
60. Salama AK. Assessment of metals in cosmetics commonly used in Saudi Arabia. *Environ Monit Assess.* 2015 Oct;188(10):553. doi:

- 10.1007/s10661-016-5550-6. Epub 2016 Sep 8. PMID: 27613289. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5550-6>
61. Abualhasan M, Naffa L, Alarda R, Zahi B, Amireh A, Al-Atrash M. Heavy metal and microbial testing of selected cosmetic products in the Palestinian market. *J Environ Sci Health C Toxicol Carcinog*. 2024;42(1):1-15. doi: 10.1080/26896583.2023.2281199. Epub 2024 Jan 19. PMID: 38060279. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/26896583.2023.2281199>
62. Gyamfi O, Aboko J, Ankapong E, Marfo JT, Awuah-Boateng NY, Sarpong K, Dartey E. A systematic review of heavy metals contamination in cosmetics. *Cutan Ocul Toxicol*. 2024 Mar;43(1):5-12. doi: 10.1080/15569527.2023.2268197. Epub 2023 Nov 2. PMID: 37916307. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15569527.2023.2268197>
63. Bastiansz A, Ewald J, Rodríguez Saldaña V, Santa-Rios A, Basu N. A Systematic Review of Mercury Exposures from Skin-Lightening Products. *Environ Health Perspect*. 2022 Nov;130(11):116002. doi: 10.1289/EHP10808. Epub 2022 Nov 11. PMID: 36367779; PMCID: PMC9651181. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP10808>
64. Negi S, Bala L, Shukla S, Chopra D. Tattoo inks are toxicological risks to human health: A systematic review of their ingredients, fate inside skin, toxicity due to polycyclic aromatic hydrocarbons, primary aromatic amines, metals, and overview of regulatory frameworks. *Toxicol Ind Health*. 2022 Jul;38(7):417-434. doi: 10.1177/07482337221100870. Epub 2022 May 19. PMID: 35592919. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/07482337221100870>
65. Sima MF. Determination of some heavy metals and their health risk in T-shirts printed for a special program. *PLoS One*. 2022 Sep 20;17(9):e0274952. doi: 10.1371/journal.pone.0274952. PMID: 36125988; PMCID: PMC9488751. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0274952>
66. Zeng X, Liu D, Wu Y, Zhang L, Chen R, Li R, Gu W, Zhang L, Liu C, Sun Q. Heavy metal risk of disposable food containers on human health. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023 Apr 15;255:114797. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114797. Epub 2023 Mar 16. PMID: 36933486. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323003019?via%3Dihub>
67. Fadaei A. An investigation into the present levels of contamination in children's toys and jewelry in different countries: a systematic review. *Rev Environ Health*. 2022 Jul 4;38(4):601-611. doi: 10.1515/revh-2022-0064. PMID: 35778924. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/revh-2022-0064/html>

Abreviaturas

As: arsénico.
Ba: bario.

Cd: Cadmio.
Co: Cobalto.
Cr: Cromo.
Cu: Cobre.

HG: mercurio.
Mn: manganeso.
Ni: níquel.
PB: plomo.
Se: selenio.
Zn: zinc.

Información suplementaria

No se declara materiales suplementarios.

Agradecimientos

No declarados.

Contribuciones de los autores

Jorge Luis Gaibor Carpio: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, redacción - borrador original.

Maria Daniela Gaibor Zumba: Conceptualización, curación de datos, Adquisición de fondos, Administración del proyecto, Supervisión.

Bryan Pérez Granda: Conceptualización, Análisis formal, Metodología. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Financiamiento

Los autores del presente artículo financiaron los gastos de esta investigación.

Disponibilidad de datos y materiales

Los conjuntos de datos utilizados y analizados durante el presente estudio están disponibles del autor correspondiente, previa solicitud razonable.

Declaraciones

Aprobación de comité de ética y consentimiento para participar

No requerida para revisiones narrativas.

Consentimiento de publicación

No requerido para revisiones narrativas en donde no se publican imágenes, radiografías de pacientes.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Información de los autores

Jorge Luis Gaibor Carpio, Doctor en medicina y Cirugía, Universidad de Guayaquil, (Ecuador, 2002). Magister en Gerencia en Salud para el desarrollo local por la Universidad técnica particular de Loja (Loja 2006). Especialista en Pediatría por la Universidad de Guayaquil (Guayaquil, 2011). Magister en Educación Superior, Investigación e innovaciones pedagógicas por la Universidad Casa Grande (Ecuador, 2016). Especialista en Salud Comunitario por la Universidad de Guayaquil (Ecuador, 2018).

Correo: jorgegaiborc@hotmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1952-8548>

María Daniela Gaibor Zumba, Médico por la Universidad de Guayaquil (Ecuador, 2023).
Correo: maria.gaiborz@ug.edu.ec
ORCID <https://orcid.org/0009-0003-4379-9828>

Bryan Pérez Granda, Médico por la Universidad de Guayaquil (Ecuador, 2023).
Correo: bryan.perezg@hug.edu.ec
ORCID <https://orcid.org/0009-0003-2086-4156>

Nota del Editor

La Revista Actas Médicas (Ecuador) permanece neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Recibido: Abril 9, 2024.

Aceptado: Junio 1, 2024.

Publicado: Junio 22, 2024.

Editor: Dra. Mayra Ordoñez Martínez.

Como citar:

Gaibor J, Gaibor M, Pérez B. Amenaza silenciosa: la presencia de metales pesados por fuentes antropogénicas y naturales. Implicaciones para la salud pública: Una revisión narrativa. Actas Médicas (Ecuador) 2024;34(1):87-103.

© **Copyright 2024**, Jorge Luis Gaibor Carpio, María Daniela Gaibor Zumba, Bryan Pérez Granda. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), which permits non-commercial use and redistribution provided the source and the original author is cited.

Correspondencia: *Jorge Luis Gaibor Carpio. Correo: jorgegaiborc@hotmail.com

Dirección: Av. Quitumbe Ñan y Av. Amaru Ñan. Plataforma Gubernamental de Desarrollo Social. Código Postal: 170702 / Quito – Ecuador Teléfono: 593-2 381-4400