

Plomo, cadmio y arsénico:
los villanos silenciosos

Lead, cadmium and arsenic:
the silent villain

María Rocío Alfaro Cruz

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-7306-2240>

Universidad de Guanajuato
Guanajuato, México

Edith Luévano Hipólito

<https://orcid.org/0000-0003-2988-405X>

Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, México

Leticia Myriam Torres-Martinez

<https://orcid.org/0000-0003-3328-0240>

Centro de Investigación en Materiales Avanzados,
S. C. (CIMAV), Chihuahua, México

Editor: Melissa del Carmen Martínez Torres, Universidad Autónoma de Nuevo León, Dirección de Investigación, Monterrey, Nuevo León, México.

Copyright: © 2026. Alfaro Cruz, María Rocío. This is an open-access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License [CC BY 4.0], which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



DOI: <https://doi.org/10.29105/cienciauanl29.136-3>

Recepción: 03-03-2025

Fecha aceptación: 07-05-2025

Email: malfaroc@uanl.edu.mx edith.luevanohp@uanl.edu.mx leticia.torresgr@uanl.mx



Ejes

EJES

Plomo, cadmio y arsénico: los villanos silenciosos

María Rocío Alfaro-Cruz*
ORCID: 0000-0002-7306-2240

Edith Luévano-Hipólito*
ORCID: 0000-0003-2988-405X

Leticia Myriam Torres-Martínez*, **
ORCID: 0000-0003-3328-0240

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl29.136-3>

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.

** Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. (CIMAV), Chihuahua, México.

Contacto: malfaroc@uanl.edu.mx, edith.luevanohp@uanl.edu.mx, leticia.torresgr@uanl.edu.mx



EL PROBLEMA DE LOS METALES PESADOS

Recientemente, la frase "contaminación por metales pesados" tomó una gran relevancia entre la población del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) luego de que se publicara un artículo en el periódico *The Guardian* y el sitio *El Quinto Elemento* (McCormick, García de León, 2025), en el que se reportaba que la contaminación por metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) en el municipio de San Nicolás de los Garza rebasaba los niveles permitidos para evitar riesgos a la salud. Tal exceso ha provocado que entre los habitantes del AMM surjan distintas afecciones: rinitis respiratoria, enfermedades pulmonares o, incluso, el desarrollo de diferentes tipos de cáncer (McCormick, García de León, 2025).

Por tal motivo, en este documento se presenta un análisis de estos tres metales pesados: Pb, Cd y As, encontrados en el AMM, cuyo problema radica en la dificultad de ser eliminados del cuerpo humano

una vez adsorbidos, lo que causa daños a diferentes órganos vitales, los cuales desencadenaran graves trastornos de salud. A continuación, se destaca información relevante y, en la figura 1, se muestra un resumen de donde los podemos encontrar en productos usados en la vida diaria.

Plomo (Pb)

El plomo es uno de los metales pesados que podemos encontrar en cantidades seguras en aditivos para pinturas o en la preparación y almacenamiento de alimentos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición desmedida al plomo afecta significativamente a los niños pequeños, ya que impacta principalmente el desarrollo del sistema nervioso central. Mientras que, en los adultos, aumenta el riesgo de hipertensión arterial, problemas cardiovasculares, daño renal, entre otros (World Health Organization, 2024).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-199-SSA1-2000), un valor aceptable de plomo en sangre en niños, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia es de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$, mientras que concentraciones mayores de 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$ son altamente peligrosas y es necesario notificarlo a las autoridades sanitarias con el fin de tomar las acciones debidas (Secretaría de Salud, 2000). En 2020 se reportó una acumulación de 1673.3 mg/kg de Pb en el suelo agrícola de la comunidad de San Felipe de Jesús, Sonora, esta rebasa 4.2 veces la cantidad permitida por las normas mexicanas, lo cual es extremadamente peligroso para los habitantes y los consumidores de los productos agropecuarios provenientes de la región (Loredo-Portales *et al.*, 2020; Briseño-Bugarín *et al.*, 2024).

Cadmio (Cd)

El cadmio es uno de los metales pesados utilizados en baterías, pigmentos, aleaciones, celdas solares, etcétera, y se acumula en los efluentes acuíferos, suelos y en cosechas agrícolas cuando no se tiene un tratamiento responsable de sus desechos (ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016). Se estima que la adsorción de cadmio por alimentos contaminados en los niños puede ser mayor al 44%, causando daños en hígado y riñones (Cantoral *et al.*, 2024).

Recientemente, un grupo de investigadores reportó altos niveles de cadmio en diversos productos del campo: hongos ostra (0.575 mg/kg), lechuga romana (0.335 mg/kg), cocoa en polvo (0.289 mg/kg) y chile ancho (0.059 mg/kg) en la Ciudad de México. En donde las concentraciones de este metal excedían los máximos permitidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la OMS (Cantoral *et al.*, 2024).

Arsénico (As)

Según la OMS, el arsénico es uno de los diez elementos más preocupantes para la salud pública, ya que las principales fuentes de exposición son a través del uso de efluentes de agua y alimentos contaminados (Organización Mundial de la Salud, 2022). La NOM-127-SSA1-2021 establece un límite permisible de 0.025 mg/L (Diario Oficial de la Federación, 2021a). Sin embargo, entre 2018-2019 se encontró presencia excesiva de dicho metal en cinco pozos de agua subterránea utilizada en las principales ciudades mexicanas

(Curiel, Mena, 2021). Esto implica altos riesgos en la salud de la población que la consume, ya que se ha reportado que alrededor de 1.5 millones de personas en México beben este líquido, lo que podría estar relacionado con el incremento de los casos de cáncer (Alarcón-Herrera *et al.*, 2020).

Asimismo, se han encontrado altas concentraciones de As en regiones específicas de Hidalgo, San Luis Potosí, Baja California Sur, Zacatecas y Morelos. A modo de ejemplo, se destacan las de Matehuala, SLP, superiores a los $8.684 \mu\text{g/l}$ en agua para beber, y de hasta 27.945 y $28.600 \mu\text{g/g}$ en los suelos y sedimentos, respectivamente (Osuna-Martínez *et al.*, 2021).

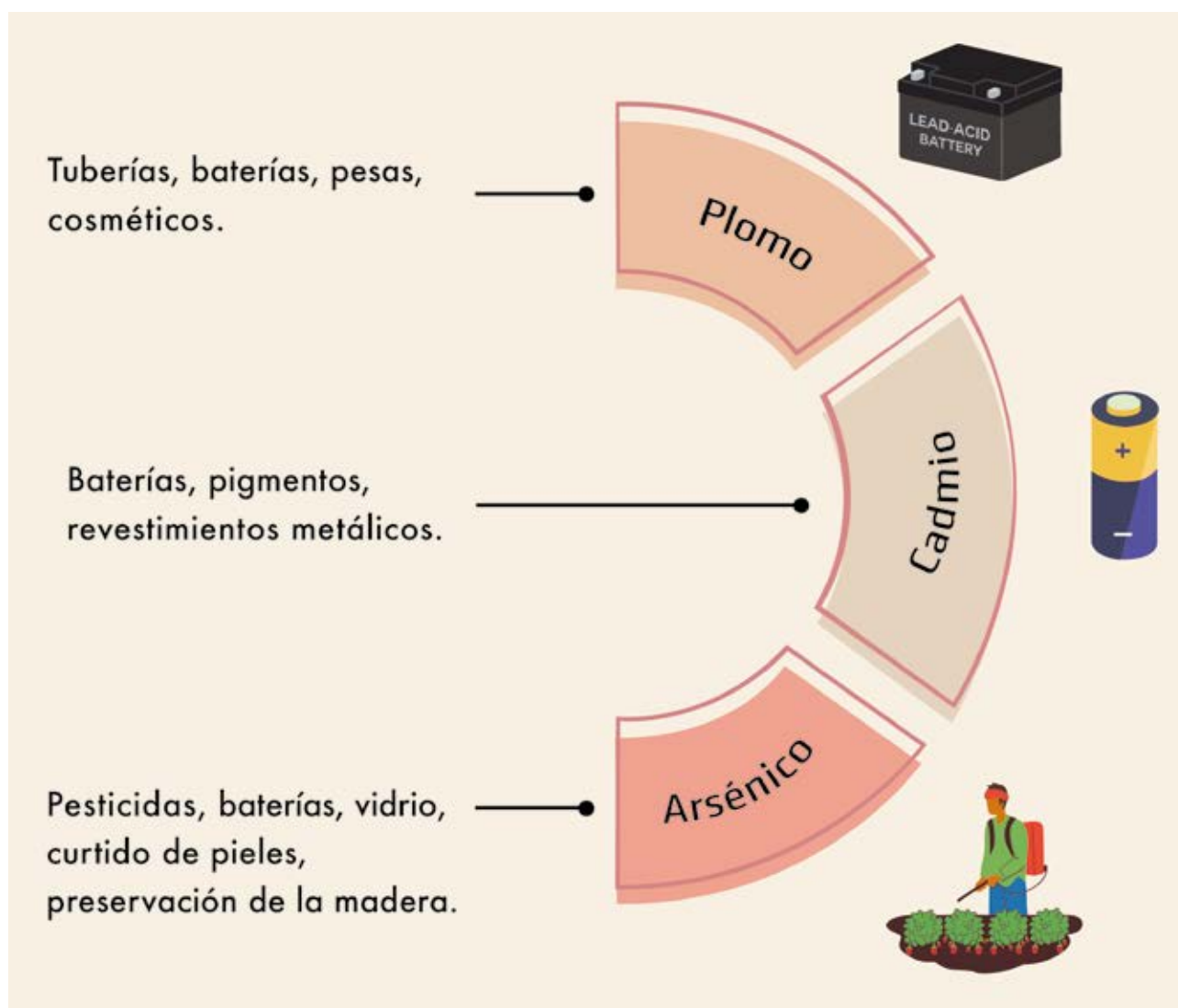


Figura 1. Aplicaciones del Pb, Cd y As en productos de la vida diaria (fuente: elaboración propia).

¿QUÉ SOLUCIONES EXISTEN?

Ya que la principal fuente de contaminación de metales pesados proviene del sector industrial y minero, es difícil que los ciudadanos podamos poner fin a este tipo de problemas utilizando nuestros propios medios. Para resolverlos, el gobierno de México implementó el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados 2021-2024. Actualmente, se tienen alrededor de 594 zonas potencialmente dañadas según estudios de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), destacando las que se encuentran en Veracruz, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Colima, Estado de México, Michoacán, Chihuahua, Aguascalientes y San Luis Potosí (Diario Oficial de la Federación, 2021b).

Por otro lado, diferentes grupos de investigación han propuesto estrategias para remover o adsorber metales pesados de los efluentes acuíferos. La técnica más usada hasta el momento es la adsorción, en la cual el metal es transferido de la fase líquida a una sólida con el uso de materiales porosos. No obstante, esta sólo transfiere el metal pesado de una fase a otra, por lo que se ha propuesto complementarla con otros procedimientos como precipitación química, intercambio iónico, filtración por membrana, coagulación-floculación, flotación, métodos electroquímicos y procesos avanzados de oxidación (Fenglian, Wang, 2011). Estos últimos se basan en la implementación de la fotocatalisis, una tecnología limpia con la que se logra descontaminar el agua a través de sistemas de oxidación y reducción. Para llevarlos a cabo es necesario que el material semiconductor se encuentre en un medio acuoso y sea irradiado con la energía suficiente, de tal forma que pueda generar pares electrón-hueco y de esta manera sucedan las reacciones de oxidación y reducción y, por consiguiente, la remoción de metales pesados (figura 2).

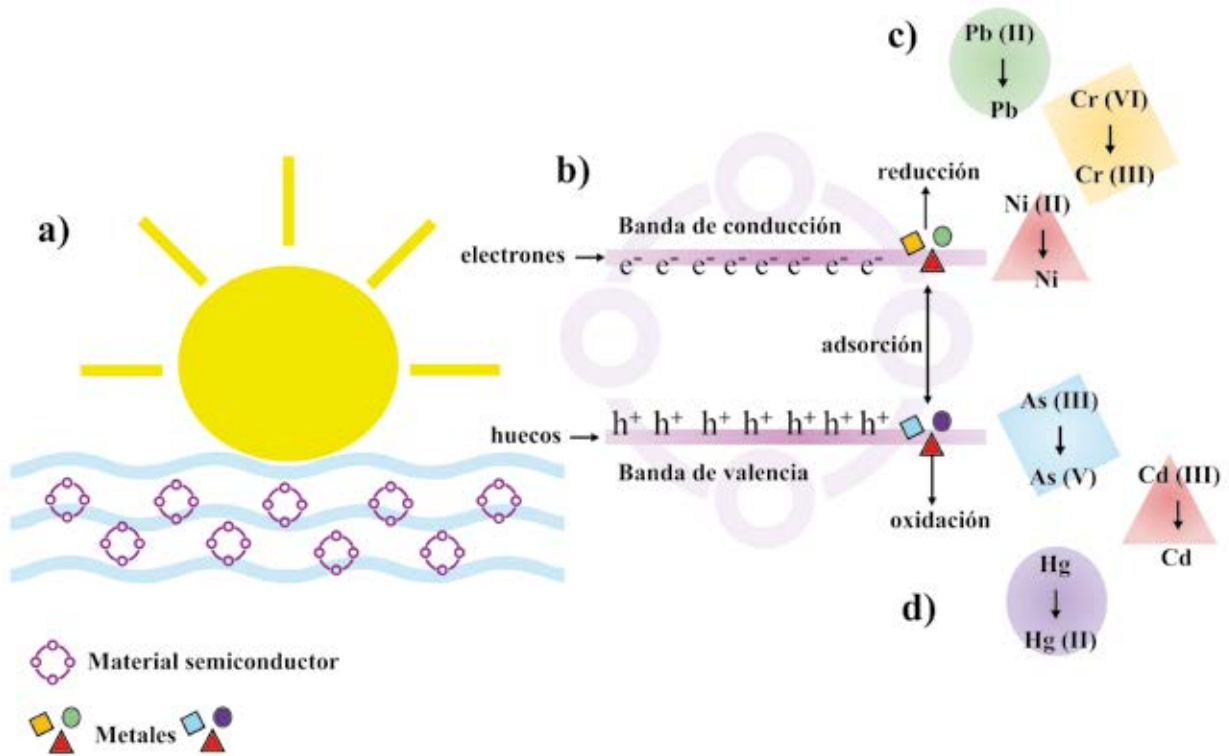


Figura 2. Proceso fotocatalítico para la remoción de metales pesados en agua. (a) El semiconductor se encuentra en un medio acuoso y es irradiado por una fuente de luz; (b) el material semiconductor es capaz de generar electrones (carga negativa) y huecos (carga positiva), los cuales se localizan en las bandas de conducción y de valencia, respectivamente. Una vez adsorbido el material en la superficie del semiconductor (c) los electrones realizan procesos de reducción, mientras que los huecos (d) realizan los procesos de oxidación de los metales pesados, llevándolos a su estado de oxidación más estable y menos contaminante (fuente: elaboración propia).

En este sentido, grupos de trabajo mexicanos han logrado exitosamente la remoción de arsénico (As III), alcanzando una oxidación del 99% y valores por debajo del límite permitido por la OMS ($< 10 \mu\text{g L}^{-1}$) (Rivera-Reyna *et al.*, 2013; Garza-Arévalo *et al.*, 2016; Navarrete-Magaña *et al.*, 2021). También se ha reportado la capacidad de adsorción de Cd de las zeolitas provenientes de Sonora, las cuales pueden adsorber hasta 4.02 mg/g de Cd (Cortés-Martínez *et al.*, 2009). Por otro lado, la remoción de Pb no ha sido explorada a detalle en México a través de dicha técnica; no obstante, investigadores de Durango han publicado el uso de biosurfactantes y extracto de agave para la remoción de este metal de aguas residuales (Alcázar-Medina *et al.*, 2019).

Los logros recientes demuestran que la aplicación de esta tecnología permitiría remover eficazmente metales pesados de efluentes acuosos mediante diferentes etapas: adsorción de iones metálicos, separación y transferencia de portadores de carga fotogenerados y la absorción de energía solar, impulsando así la eliminación de iones metálicos altamente tóxicos del medio ambiente.

No obstante, existen algunas limitantes sobre la remoción de estos metales pesados a partir de la fotocatalisis. Por ejemplo, a diferencia de contaminantes orgánicos que pueden ser degradados hasta productos inocuos (CO_2 y H_2O), los metales pesados no se degradan, sino que deben ser convertidos a una forma (estado de oxidación) menos tóxica. Conseguirlo requiere mecanismos distintos, como los compuestos insolubles, que dependen del potencial redox del metal, el pH de la solución, la presencia de agentes complejantes y la naturaleza del fotocatalizador (Ajiboye, Oyewo, Onwudiwe, 2021).

También hay retos asociados a la selectividad de la reacción, ya que la coexistencia de otros iones o materia orgánica puede interferir en la eficiencia de la remoción de estos contaminantes. Por ello, se requieren condiciones específicas de operación para lograrla de manera efectiva.

También hay retos asociados a la selectividad de la reacción, ya que la coexistencia de otros iones o materia orgánica puede interferir en la eficiencia de remoción. Por ello, se requieren condiciones específicas de operación para lograr una remoción efectiva de estos contaminantes.

CONCLUSIONES

La presencia de metales pesados en el medio ambiente (agua, aire y suelo) es un problema crítico que se debe atender inmediatamente con el objetivo de evitar daños crónicos en la salud de la población del AMM. En este documento se aborda la exploración de diversas técnicas en la eliminación de metales pesados de soluciones acuosas como estrategia para coadyuvar su mitigación en el medio ambiente.

Se mencionó que su remoción se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante adsorción y precipitación química por su simplicidad y economía. Y en la última década la fotocatalisis heterogénea se ha convertido

en una tecnología altamente prometedora para la eliminación de metales con alta eficiencia y bajo consumo de energía. Además, esta, a diferencia de procesos tradicionales como la precipitación o la adsorción, no introduce nuevos contaminantes al agua y puede adaptarse a sistemas de flujo continuo, reactores solares o tratamientos por lotes, lo que la hace versátil para distintas escalas. A pesar de los numerosos avances, tales estrategias aún se encuentran en la etapa de laboratorio, por lo que quedan muchos desafíos importantes por abordar.

REFERENCIAS

- Ajiboye, Timothy O., Oyewo, Opeyemi A., Onwudiwe, Damian C. (2021). Simultaneous removal of organics and heavy metals from industrial wastewater: A review, *Chemosphere*, 262, 128379, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128379>
- Alarcón-Herrera, María T., Martín-Alarcon, Daniel A., Gutiérrez, Mélida, *et al.* (2020). Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization, *Science of The Total Environment*, 698, 134168, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>
- Alcázar-Medina, F.A., Núñez-Núñez, C.M., Rodríguez-Rosales, M.D.J., *et al.* (2019). Lead removal from aqueous solution by spherical agglomeration using an extract of Agave lechuguilla Torr. as biosurfactant, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(1), 71-84, <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio491>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública-Cadmio (Cadmium)*, https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html#:~:text=La OSHA ha establecido un,jornada diaria de 8 horas
- Briseño-Bugarín, Jorge, Araujo-Padilla, Xelha, Escot-Espinoza, Víctor M., *et al.* (2024). Lead (Pb) Pollution in Soil: A Systematic Review and Meta-Analysis of Contamination Grade and Health Risk in Mexico, *Environments*, 11(3), 43, <https://doi.org/10.3390/environments11030043>
- Cantoral, Alejandra, Collado-López, Sonia, Betanzos-Robledo, Larissa, *et al.* (2024). Dietary Risk Assessment of Cadmium Exposure Through Commonly Consumed Foodstuffs in Mexico, *Foods*, 13(22), 3649, <https://doi.org/10.3390/foods13223649>

Cortés-Martínez, Raúl, Solache-Ríos, Marcos, Martínez-Miranda, Verónica, *et al.* (2009). Removal of Cadmium By Natural and Surfactant-Modified Mexican Zeolitic Rocks in Fixed Bed Columns, *Water, Air, and Soil Pollution*, 196(1-4), 199-210, <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9769-x>

Curiel, Patricia, Mena, Gibrán. (2021). Veneno en mi agua, *Quinto Elemento Lab*, <https://quintoelab.org/project/veneno-en-mi-agua>

Diario Oficial de la Federación. (2021a). *NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5650705

Diario Oficial de la Federación. (2021b). *Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados 2021-2024*, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634656&fecha=05/11/2021#gsc.tab=0

Fenglian, Fu, Wang, Qi. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>

Garza-Arévalo, J.I., García-Montes, I., Hinojosa-Reyes, M., *et al.* (2016). Fe doped TiO₂ photocatalyst for the removal of As(III) under visible radiation and its potential application on the treatment of As-contaminated groundwater, *Materials Research Bulletin*, 73, 145-152, <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.08.034>

Loredo-Portales, René, Bustamante-Arce, Jesús, González-Villa, Héctor N., *et al.* (2020). Mobility and accessibility of Zn, Pb, and As in abandoned mine tailings of northwestern Mexico, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(21), 26605-26620, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09051-1>

McCormick, Erin, García de León, Verónica. (2025a). Revealed: US hazardous waste is sent to Mexico – where a ‘toxic cocktail’ of pollution emerges, *The Guardian*, <https://www.theguardian.com/us-news/ng-interactive/2025/jan/14/monterrey-mexico-steel-us-toxic-waste>

McCormick, Erin, García de León, Verónica. (2025). Encuentran ‘coctel tóxico’ en casas y escuelas de la zona metropolitana de Monterrey, *El Quinto Elemento*, <https://quintoelab.org/project/https-coctel-toxico-residuos-peligrosos-zinc-monterrey>

Navarrete-Magaña, Michelle, Estrella-González, Alberto, May-Ix, Luis, *et al.* (2021). Improved photocatalytic

oxidation of arsenic (III) with WO₃/TiO₂ nanomaterials synthesized by the sol-gel method, *Journal of Environmental Management*, 282 (February 2020), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111602>

Organización Mundial de la Salud. (2022). *Arsénico*, <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Osuna-Martínez, C. Cristina, Armienta, María A., Bergés-Tiznado, Magdalena E., *et al.* (2021). Arsenic in waters, soils, sediments, and biota from Mexico: An environmental review, *Science of The Total Environment*, 752, 142062, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142062>

Rivera-Reyna, Nidia, Hinojosa-Reyes, Laura, Guzmán-Mar, Jorge L., *et al.* (2013). Photocatalytical removal of inorganic and organic arsenic species from aqueous solution using zinc oxide semiconductor, *Photochemical and Photobiological Sciences*, 12(4), 653-659, <https://doi.org/10.1039/c2pp25231g>

Secretaría de Salud. (2000). *NORMA Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente*, [https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/199ssa10.html#:~:text=6.1 El valor criterio para,de 25 m g%2Fdl](https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/199ssa10.html#:~:text=6.1%20El%20valor%20criterio%20para,%20de%2025%20mg%20Fdl)

World Health Organization. (2024). *Lead poisoning*, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

Recibido: 03/03/2025
Aceptado: 07/05/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.



Plomo, cadmio y arsénico: los villanos silenciosos

Resumen

La presencia de metales pesados en recursos naturales como el agua, aire y suelos representa un problema crítico que es urgente de atender para evitar el daño progresivo en la salud de la población. A modo de referencia, este documento presenta un análisis de los efectos de tres metales pesados: plomo, cadmio y arsénico, cuyo problema radica en la dificultad de ser eliminados del cuerpo humano una vez adsorbidos. Por lo que, se presenta la aplicación de procesos avanzados de oxidación como una alternativa factible para coadyuvar a su remoción de efluentes acuosos y evitar el daño crónico en la salud de las personas del AMM.

Palabras clave: contaminación por metales pesados; metales tóxicos; salud pública, semiconductores; fotocatalisis.

Lead, cadmium, and arsenic: the silent villains

Abstract

The presence of heavy metals in natural resources such as water, air, and soil represent a critical problem that urgently needs addressing to prevent progressive population health damage. As a reference, this document presents an effect analysis for three heavy metals, lead, cadmium, and arsenic, whose problem lies in the difficulty of being eliminated from the human body once adsorbed. Therefore, the application of advanced oxidation processes is presented as a feasible alternative to assist in their removal from aqueous effluents and prevent chronic damage to the health of people in the AMM.

Keywords: heavy metal pollution, toxic metals, public health, semiconductors, photocatalysis.