

EL SATURNISMO NO VIENE DE SATURNO

Lia Celina Méndez Rodríguez* y Sergio Ticul Álvarez-Castañeda

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.

La Paz, Baja California Sur, México.

lmendez04@cibnor.mx (LCMR), sticul@cibnor.mx (STA-C)

*Autor de correspondencia

El saturnismo no es solo el nombre de la enfermedad: es la manifestación del daño que provoca en el organismo la exposición y acumulación de plomo. Este metal se acumula en la sangre, tejidos blandos y, con el tiempo, en huesos y dientes. Sus efectos se asocian con daños neurológicos, hematológicos, renales y hepáticos.

El plomo es un elemento químico presente de manera natural en la corteza terrestre. Aunque sus efectos negativos podrían parecer un problema del pasado o una preocupación limitada a contextos industriales, su presencia en la fauna silvestre revela que sigue siendo un contaminante vigente, extendido y, muchas veces, silencioso. Seguir el rastro de este metal en los organismos terrestres permite comprender cómo distintas actividades humanas, como la minería, la caza o la urbanización, convergen en sus efectos sobre los ecosistemas. En la fauna silvestre, la exposición al plomo se asocia con alteraciones fisiológicas y clínicas relevantes, por lo que su estudio resulta importante desde una perspectiva ecotoxicológica y de conservación.

El saturnismo es una enfermedad crónica, causada por la acumulación de dicho metal pesado en el organismo debido a su inhalación o ingestión. Una vez que ha sido absorbido, el plomo circula por la sangre unido a los eritrocitos, hasta alcanzar tejidos blandos como el hígado, el riñón y el sistema nervioso. A largo plazo, se acumula en los huesos y dientes constituyendo un reservorio crónico, desde el que puede mobilizarse nuevamente hacia la sangre durante periodos de alta demanda fisiológica o de estrés. La toxicidad del plomo es multifactorial. Depende de la interacción entre la dosis, la forma química, la duración de la exposición, la especie, la edad, el sexo, el estado nutricional y la presencia de otros elementos químicos que puedan favorecer o dificultar su asimilación. En los casos de intoxicación por plomo que afectan al sistema nervioso, se observan cambios conductuales sutiles como variaciones en la exploración, el aprendizaje o la coordinación, así como signos clínicos más severos, como letargo, trastornos neurológicos que se manifiestan con temblores o convulsiones. Según el contexto de exposición, la magnitud de estas alteraciones puede variar desde manifestaciones discretas hasta cuadros clínicos graves.

En el sistema hematológico, el plomo puede interferir con la síntesis de hemoglobina, por ejemplo, mediante la inhibición de la actividad de la enzima deshidratasa del ácido δ -aminolevulínico (ALAD), lo que causa anemia y la disminución del desempeño fisiológico.

En escenarios de exposición sostenida, el riñón y el hígado, figuran entre los principales tejidos a ser atacados. En el riñón, esta toxicidad causa daño tubular y la pérdida lenta, progresiva e irreversible de la función renal. En el hígado se asocia con alteraciones hepáticas, sobre todo cuando la exposición es prolongada.

En cuanto a los efectos sobre la reproducción e inmunidad, la evidencia más sólida proviene de estudios en mamíferos y aves y en menor medida, de los peces. En dichos grupos, la exposición al plomo ha sido asociada con alteraciones reproductivas e inmunológicas. En reptiles, algunos estudios sugieren una mayor tolerancia, con pocos efectos negativos atribuibles a este elemento.

La exposición al plomo es un fenómeno de origen múltiple, en el que convergen fuentes antrópicas históricas (por ejemplo, minería, fundiciones y distintas actividades industriales), con fuentes contemporáneas evitables, como la munición con plomo. Los patrones de exposición entre las diferentes especies varían según la región y los hábitos de alimentación. En los mamíferos silvestres, la incorporación del metal puede ocurrir por distintas vías. Una de las más discutidas es la ingestión de fragmentos de munición, balas o postas. En el caso de la munición, al ser disparada, se fragmenta y produce múltiples partículas, incluidas fracciones pequeñas y polvo metálico. Esta fragmentación incrementa la probabilidad de ingestión incidental por animales que consumen carroña. En lugares de caza intensa y disponibilidad recurrente de restos, este proceso puede adquirir un componente estacional, con aumentos durante las temporadas cinegéticas.

Otra vía importante de intoxicación es la asociada con contaminación ambiental, especialmente en zonas vinculadas con la minería, las fundiciones, las zonas industriales, los campos de tiro, las carreteras o las áreas urbanas con legado de plomo. En estos escenarios, la ingesta del metal puede ocurrir por ingestión incidental de suelo, por el consumo de forraje con micropartículas adheridas o por la exposición a agua y sedimentos contaminados. En los ungulados, esta ruta suele ser considerada como la dominante. En los casos de exposición crónica, el plomo tiende a acumularse en los músculos, el hígado y el riñón, así como en las matrices duras, como los huesos y los dientes. Es por ello que distintas especies de ungulados se consideran mamíferos centinelas de contaminación. El plomo puede transferirse a través de la cadena alimentaria, por lo que las municiones pueden generar exposiciones relevantes para depredadores y carroñeros.

Un ejemplo ilustrativo proviene del Gran Ecosistema de Yellowstone, Estados Unidos de América, donde se evaluó la exposición a plomo en grandes carnívoros. Las concentraciones de plomo en sangre registradas fueron de 1.1 a 18.6 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (es decir, de 1.1 a 18.6 microgramos en 100 mililitros de sangre) en oso grizzly (*Ursus arctos*), 0.5–6.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en oso negro (*Ursus*

americanus), desde no detectable hasta 1.4 µg/dL en lobo (*Canis lupus*) y desde no detectable hasta 1.4 µg/dL en puma (*Puma concolor*). Se planteó que la munición podía explicar la presencia de plomo, aunque no se encontró evidencia suficiente para confirmarla como la fuente principal. Aun así, esta hipótesis resulta plausible ya que los lobos y pumas pueden consumir carroña cuando está disponible, sobre todo en invierno. Los osos negros también carroñan, pero en presencia de poblaciones densas de osos grizzly pueden evitar recursos altamente deseables para reducir el riesgo de conflicto, particularmente en años de escasez. Asimismo, los coyotes (*Canis latrans*) son conocidos carroñeros de despojos o cadáveres dejados por cazadores. En este contexto, si el plomo proviniera únicamente de la munición, ello sugeriría una frecuencia de carroñeo mayor en osos grizzly que en osos negros, seguida los lobos y, finalmente los pumas, debido a que estos últimos lo hacen de manera más esporádica. La cacería introduce, además, un matiz adicional: los individuos que sobreviven pueden retener fragmentos de munición y contribuir a su propia carga corporal.

Estudios realizados en Croacia evidencian que los patrones de acumulación pueden diferir incluso entre ambientes próximos. Este comportamiento se ha documentado en carnívoros medianos como la garduña (*Martes foina*) y el zorro rojo (*Vulpes vulpes*), tanto en áreas suburbanas como rurales. Los individuos suburbanos de garduña presentaron concentraciones hepáticas de plomo superiores a las de los ejemplares rurales (0.21–1.71 mg/kg frente a 0.006–0.259 mg/kg, respectivamente), así como mayores concentraciones renales (0.046–1.24 mg/kg frente a 0.035–0.124 mg/kg, respectivamente). De manera semejante, en el zorro rojo, los individuos suburbanos mostraron concentraciones más elevadas que los rurales en hígado (0.024–0.584 mg/kg frente a 0.018–0.128 mg/kg) y en riñón (0.032–0.462 mg/kg frente a 0.021–0.316 mg/kg). En conjunto, estos hallazgos indican que las condiciones ambientales pueden influir significativamente en las concentraciones detectadas.

En ungulados también se han descrito contrastes interesantes. Por ejemplo, se han registrado concentraciones más elevadas de plomo en corzo (*Capreolus capreolus*) que en jabalí (*Sus scrofa*), sin que exista una explicación concluyente de por qué el corzo adquiere más plomo a través de las plantas

que el jabalí. Éste último consume mayores cantidades de sedimento, donde normalmente este metal se encuentra en concentraciones más altas. Tal patrón abre la puerta a considerar que la fracción biodisponible del plomo en las plantas podría ser, en ciertas condiciones, más importante de lo que suele suponerse. También se han encontrado ejemplares de las mismas especies con concentraciones más altas de plomo en músculo que en hígado y riñón, un hallazgo que se ha atribuido a contaminación por municiones.

Para saber si hay plomo en el ambiente, es necesario realizar monitoreos periódicos en suelo y fauna silvestre. En este contexto, los roedores han recibido especial atención porque funcionan como centinelas, debido a que son particularmente sensibles a la contaminación. Su estrecha relación con el sustrato, a través de la excavación, el consumo de alimento cercano al suelo y la exposición a polvo, junto con sus ciclos de vida relativamente cortos, les permite reflejar con buena resolución la variación en la concentración del plomo en un sitio determinado en un periodo de tiempo. El topillo rojo (*Myodes glareolus*), por ejemplo, se ha utilizado ampliamente en biomonitordeo ya sea mediante el análisis de metales en tejidos o en matrices duras, incluidos los dientes. Además, en roedores silvestres de ambientes contaminados se han descrito cambios en la concentración de plomo en los tejidos como hígado y riñón, lo que refuerza su valor no solo para documentar cuánto metal hay, sino también para aproximarse a los efectos que podría estar generando.

Para estudiar la exposición al plomo en vida silvestre no basta con un solo tipo de tejido, ya que cada uno ofrece una ventana temporal distinta. La sangre suele considerarse un buen indicador de exposición reciente y resulta especialmente útil en carnívoros vivos; de hecho, fue una pieza central en las evaluaciones realizadas con grandes carnívoros en Yellowstone. En contraste, el hueso y los dientes reflejan carga acumulada y permiten aproximarse a exposiciones crónicas; por ello, que en los roedores los dientes se han propuesto como marcadores integrados de exposición ambiental a largo plazo. Por su parte, el hígado y el riñón ofrecen información a corto plazo y son particularmente útiles en necropsias; en ungulados como el jabalí se han empleado para vigilancia regional de metales, incluido el plomo.



El coyote (*Canis latrans*) está entre las especies predatoras carroñeras más expuestas al consumo accidental de plomo en la naturaleza.
Fotografía: Sergio Ticul Álvarez-Castañeda.

Para dimensionar el daño que el plomo puede estar generando en un organismo, además de cuantificar su concentración en sangre, también se analizan diferentes marcadores biológicos (biomarcadores) como pueden ser proteínas y ADN. Entre los análisis que más se realizan para valorar si a causa del plomo hay un exceso de radicales libres por la falta de antioxidantes en el cuerpo (estrés oxidativo) se encuentra la cuantificación de la actividad de la enzima deshidratasa del ácido δ -aminolevulínico (ALAD) y la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD). Asimismo, pueden evaluarse parámetros asociados con anemia, como el hematocrito y la hemoglobina. En conjunto, estas mediciones permiten fortalecer la inferencia sobre los efectos derivados de la exposición a distintas concentraciones de plomo y valorar la severidad de la contaminación en un sitio determinado. Por ejemplo, en osos pardo (*Ursus arctos*) de Polonia se han registrado concentraciones de plomo en sangre superiores al valor sobre el cual se han encontrado efectos hematológicos y cardiovasculares en humanos adultos (10 μ g/dL). Los osos que excedieron esta concentración mostraron un incremento en la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD). El aumento de la actividad de la SOD se asocia con una mayor generación de especies reactivas de oxígeno, un proceso que puede contribuir al desarrollo de diversas patologías, incluido el cáncer. Por ello, una estrategia de monitoreo sólida debería integrar distintas especies centinela, múltiples matrices biológicas y biomarcadores funcionales, con el objetivo de mejorar la interpretación ecotoxicológica de la exposición al plomo en fauna silvestre.

El plomo es un contaminante persistente en el ambiente, su impacto puede reducirse mediante varias líneas de acción articuladas entre sí. La primera es sustituir las municiones con plomo por alternativas sin plomo. La segunda consiste en mejorar la gestión de restos de caza, ya sea mediante retiro, entierro profundo o disposición controlada, para reducir el acceso a restos de carroña con plomo a los depredadores. La tercera es impulsar un monitoreo centinela que combine ungulados, útiles como bioindicadores regionales; roedores, sensibles a gradientes finos de contaminación; y carnívoros, que pueden reflejar picos estacionales de exposición, integrando para ello distintas matrices y biomarcadores. En el terreno regulatorio ya existen precedentes: California (Estados Unidos de América) exige munición sin plomo para la cacería de vida silvestre con armas de fuego en todo el estado y en la Unión Europea el Reglamento (UE) 2021/57 (REACH: *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) restringe el uso y porte de perdigón de plomo en o alrededor de humedales. En México, esto aún no se reglamenta.

Para la conservación de las especies silvestres y evitar el saturnismo, resulta fundamental promover la remoción del plomo de las municiones, implementar un manejo adecuado de los restos de caza y fortalecer los programas de monitoreo de fauna silvestre para vigilar su salud.

LITERATURA CONSULTADA

- Ballová, Z. K., F. Korec, y K. Pinterová. 2020. Relationship between heavy metal accumulation and histological alterations in voles from alpine and forest habitats of the West Carpathians. *Environmental Science and Pollution Research* 27:36411-36426.
- Hydeskov, H. B., *et al.* 2024. A global systematic review of lead (Pb) exposure and its health effects in wild mammals. *Journal of Wildlife Diseases* 60:285-297.
- Knopff, K. H., A. A. Knopff, y M. S. Boyce. 2010. Scavenging makes cougars susceptible to snaring at wolf bait stations. *The Journal of Wildlife Management* 74: 644-653.
- Lazarus, M. T., *et al.* 2020. Metal (loid) exposure assessment and biomarker responses in captive and free-ranging European brown bear (*Ursus arctos*). *Environmental Research* 183:109166.
- Rogers, T. A., B. Bedrosian, J. Graham, y K. R. Foresman. 2012. Lead exposure in large carnivores in the Greater Yellowstone Ecosystem. *The Journal of Wildlife Management* 76:575-582.
- Srebočan, E., *et al.* 2011. Cadmium, lead, and mercury concentrations in tissues of roe deer (*Capreolus capreolus* L.) and wild boar (*Sus scrofa* L.) from lowland Croatia. *Czech Journal of Food Sciences* 29:624-633.

Sometido: 10/abr/2026.

Revisado: 15/abr/2026.

Aceptado: 17/abr/2026.

Publicado: 19/abr/2026.

Editor asociado: Dr. Eduardo Felipe Aguilera-Miller.