

Metales pesados: ¿Qué son y cuál es su impacto ecológico y en el consumo humano de tiburones y rayas?

Gerardo Lira-Lerma^{1*}, Ofelia Escobar-Sánchez^{1,2},
& Miguel Ángel Hurtado-Oliva¹

Resumen

Todos podemos distinguir un metal de un plástico o de un trozo de madera, pero ¿qué es un metal pesado? Estos son contaminantes que a simple vista no podemos ver pero que están presentes en nuestro entorno, incluyendo los océanos de todo el mundo, impactando a diversos organismos acuáticos marinos, como los tiburones, rayas y peces que son consumidos regularmente por el humano y que por sus características biológicas acumulan estos contaminantes en sus tejidos.

Palabras clave: metal pesado, peces cartilaginosos, salud humana.

Recibido: 08 de junio de 2023.

Abstract

We can all distinguish a metal from a plastic or a piece of wood, but what is a heavy metal? These are contaminants that we cannot see with the naked eye but are present in our environment, including oceans around the world, impacting various marine aquatic organisms, including sharks and rays, fish that are regularly consumed by humans and that due to their biological characteristics, they accumulate these contaminants in their tissues.

Key words: heavy metal, cartilaginous fish, human health.

Aceptado: 11 de agosto de 2023.

¿Qué es un metal pesado?

Los metales pesados (MP) son todos aquellos elementos químicos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua (entre 4 y 7 g/cm³). Se usan en numerosos procesos de producción de bienes y servicios, así como en la combustión de derivados del petróleo. Algunos metales son esenciales para los organismos en bajas concentraciones, ya que forman parte de sus requerimientos nutricionales; sin embargo, los MP son tóxicos cuando sobrepasan cierta concentración en el ambiente,

causando daños en la salud de las personas y los organismos en general.

¿Cómo se origina la contaminación por metales pesados?

Las actividades productivas del ser humano para generar alimentos, energía, materiales y servicios en su mayoría terminan en la emisión de residuos al ambiente. Cuando la naturaleza de estos residuos no es compatible con el ecosistema en el que son confinados, se puede

¹ Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa. P.º Claussen S/N, Centro, 82000 Mazatlán, Sinaloa, México.

² Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), Dirección de Cátedras CONACYT, Insurgentes Sur 582, Crédito Constructor, 03940 Ciudad de México, México.

* **Autor de correspondencia:** gerardo.lira.facimar@uas.edu.mx (GLL)

alterar la composición física, química y biológica del ambiente, a eso se le llama contaminación.

Todas esas sustancias que son vertidas en la naturaleza tienen distintas propiedades y características; entre ellas podemos distinguir, plásticos, madera, papel, vidrio y sustancias químicas que pueden ser peligrosas para los seres vivos que habitan en los ecosistemas. Entre esas sustancias se encuentran los metales pesados. Se sabe que estos contaminantes actúan como secuestradores, robando electrones de moléculas estables como proteínas, lípidos o ácidos nucleicos. Este efecto inducido por MP puede generar en organismos acuáticos desde mutaciones, carcinogénesis, daño genético, muerte celular e incluso infertilidad (Das *et al.* 2017), mientras que en humanos se sabe que pueden provocar hipertensión, daños en el riñón, disfunción en el aprendizaje, trastornos en la reproducción, entre otros (Abele *et al.* 2011).

Los MP llegan a los ecosistemas marinos por transporte atmosférico, descargas de aguas residuales o escurrimiento pluvial, que al entrar en el ambiente marino forman compuestos más estables con la materia orgánica, y es así como forman parte del agua o del sedimento. La actividad microbiológica origina que estos MP ingresen a todos los niveles tróficos, desde productores primarios como las algas hasta grandes depredadores como atunes

y tiburones, especies que son consumidas por nosotros, quienes también podemos acumular esos metales.

Por sus efectos toxicológicos en los organismos, desde hace décadas se han desarrollado diferentes estudios que abarcan los MP más importantes, como son: arsénico, plomo, mercurio, cadmio, entre otros (Fig. 1), pero también se han estudiado casos puntuales de desastres químicos, como el caso de Minamata (Japón) durante la década de los 50's. En ese desastre químico murieron aproximadamente 45 personas, las aves y mascotas presentaban síntomas de envenenamiento derivado de un derrame de aguas residuales con mercurio, el cual dejó grandes aprendizajes sobre los efectos del mercurio provocados por la contaminación de peces con este metal.

Una de las principales fuentes de proteína para el ser humano son los peces, y su consumo pudiera estar ligado a la contaminación por metales pesados. Por ello es importante monitorear la calidad de estos alimentos, así como el nivel de riesgo por su consumo.

En los peces, la absorción y distribución de metales ocurre de la siguiente manera: primero, los metales cruzan la primera capa de células de la mucosa digestiva. Segundo, se incorporan a la sangre, incluida la unión a proteínas, luego son transportados por la sangre hacia los



Figura 1. Principales metales pesados estudiados por su grado de toxicidad.

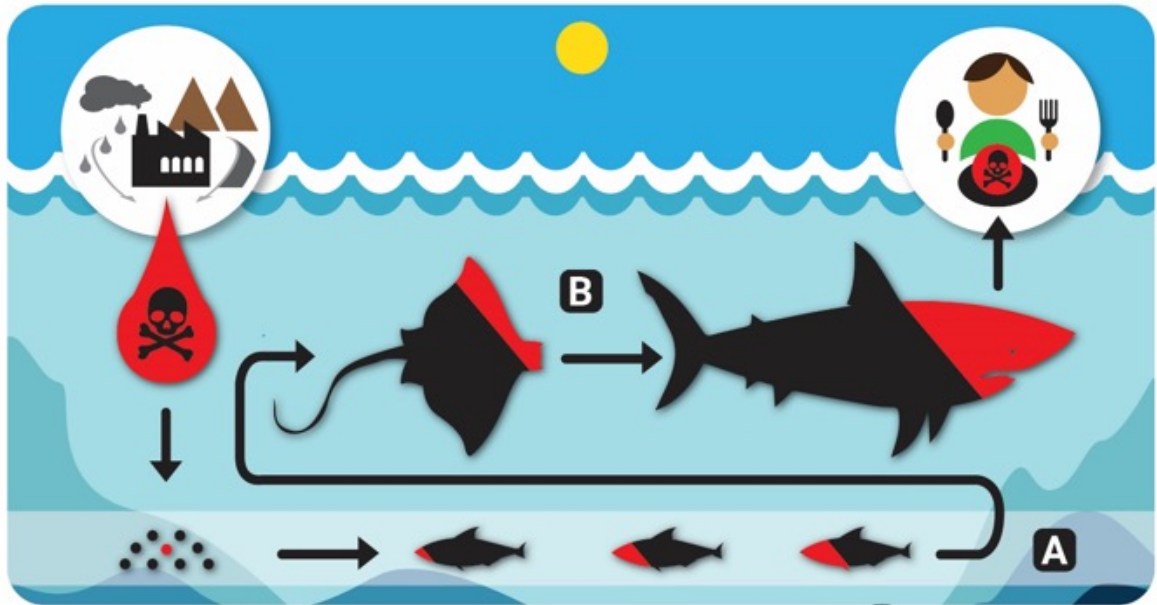


Figura 2. Bioacumulación (A): Los organismos absorben los contaminantes del alimento y los acumulan en diferentes tejidos a través del tiempo. Biomagnificación (B): Los contaminantes almacenados en los organismos se transfieren a los siguientes niveles tróficos hasta llegar a los grandes depredadores.

tejidos. Las branquias, sistema digestivo y, en menor medida, la piel, son los principales sitios de acumulación de metales en los peces.

Algunos grupos de peces de hábitos carnívoros que pueden presentar niveles altos de metales pesados son los elasmobranquios, conocidos coloquialmente como tiburones y rayas. Estos peces cartilaginosos o carentes de huesos, presentan madurez tardía, baja fecundidad con crías bien desarrolladas y además tienen larga vida (longevos). Generalmente estos peces se encuentran en posiciones tróficas superiores (es decir, hasta arriba de la cadena trófica o alimenticia). Por lo que estos peces resultan buenos centinelas, puesto que reflejan la salud de los ecosistemas marinos, ya que son capaces de evidenciar el estado de contaminación de su hábitat al acumular contaminantes en sus tejidos mediante la bioacumulación y biomagnificación.

Bioacumulación y biomagnificación

La bioacumulación ocurre cuando los contaminantes se depositan en los diferentes tejidos de los organismos. Cuando las concentraciones absorbidas son mayores a la tasa de eliminación de los organismos, estos tienden a acumular los contaminantes en sus tejidos. Existen tejidos específicos para cada contaminante, y a estos se les llama tejidos u órganos “diana” debido a que son afectados específicamente por un contaminante en particular. Por el contrario, la biomagnificación es un proceso vertical; es decir, los contaminantes se transportan de manera ascendente desde los niveles tróficos inferiores hasta los niveles superiores llegando inclusive hasta los humanos (Fig. 2).

Contaminación del golfo de California por metales pesados

El golfo de California es un mar semicerrado que se encuentra en el noroeste de

México, en la porción norte del Pacífico mexicano. Es una importante región pesquera en el este del Pacífico tropical y además alberga los ecosistemas marinos más diversos del planeta. La combinación de sus características topográficas, latitudinales y sistemas de surgencias, origina una alta productividad primaria, lo que proporciona un ambiente único en el que se desarrolla la vida marina tropical (Verdugo-Díaz & Gárate-Lizárraga 2018).

En la porción central del golfo de California existe gran actividad agrícola, principalmente en el estado de Sinaloa. Los productores utilizan fertilizantes y plaguicidas para optimizar sus cultivos y aumentar la cosecha de alimentos. El mal manejo de los residuos de los agroquímicos y su mismo uso en los campos agrícolas genera un aporte de magnitud considerable en la zona costera del golfo de California.

Otra fuente antropogénica de metales pesados son las emisiones puntuales de contaminantes derivados de la industria de la transformación. El procesamiento de alimentos, la minería, generación de residuos sólidos, emisión de partículas a la atmósfera, la generación de energía eléctrica y el uso de combustibles en general, son ejemplos de actividades que producen residuos de metales pesados, y que por medio de la descarga de aguas residuales y aportes pluviales, son arrastrados y depositados en el golfo de California (Fig. 3).

Tiburones y rayas del golfo de California

En el golfo de California existe una amplia variedad de tiburones y rayas. En la Carta Nacional Pesquera se tienen identificadas 19 especies de rayas y 19 especies de tiburones que son objeto de capturas comerciales en el litoral del Pacífico mexicano.

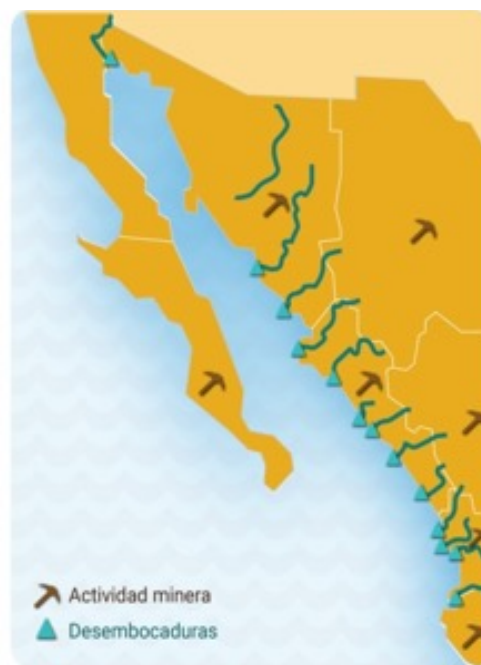


Figura 3. Principales zonas de actividad minera y desembocaduras de ríos en el golfo de California.

Entre los tiburones más comunes destacan el tiburón azul (*Prionace glauca*), tiburones martillo o cornudas (*Sphyrna lewini* y *S. zygaena*), tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*), tiburón angelito (*Squatina californica*) y el tiburón cazón (*Mustelus henlei*), entre otros. Algunas de las especies más comunes que se capturan por la pesca ribereña son la raya látigo (*Hypanus longus* e *H. dipterurus*), la raya mariposa (*Gymnura crebripunctata* y *G. marmorata*), la raya tecolote (*Rhinoptera steindachneri*), el pez guitarra o diablo (*Pseudobatos glaucostigma*) y la raya águila moteada (*Aetobatus laticeps*) (Fig. 4).

Según la Comisión Nacional de Pesca, en 2018 la producción pesquera del Pacífico mexicano contribuyó con el 81.84% del total nacional, y a su vez el Golfo de California aportó el 82.92% del total de capturas en el Pacífico mexicano. En ese mismo año se reportó una producción neta de 39,999 toneladas en peso vivo de tiburones y rayas (CONAPESCA 2018). La carne de estas especies es comercializada

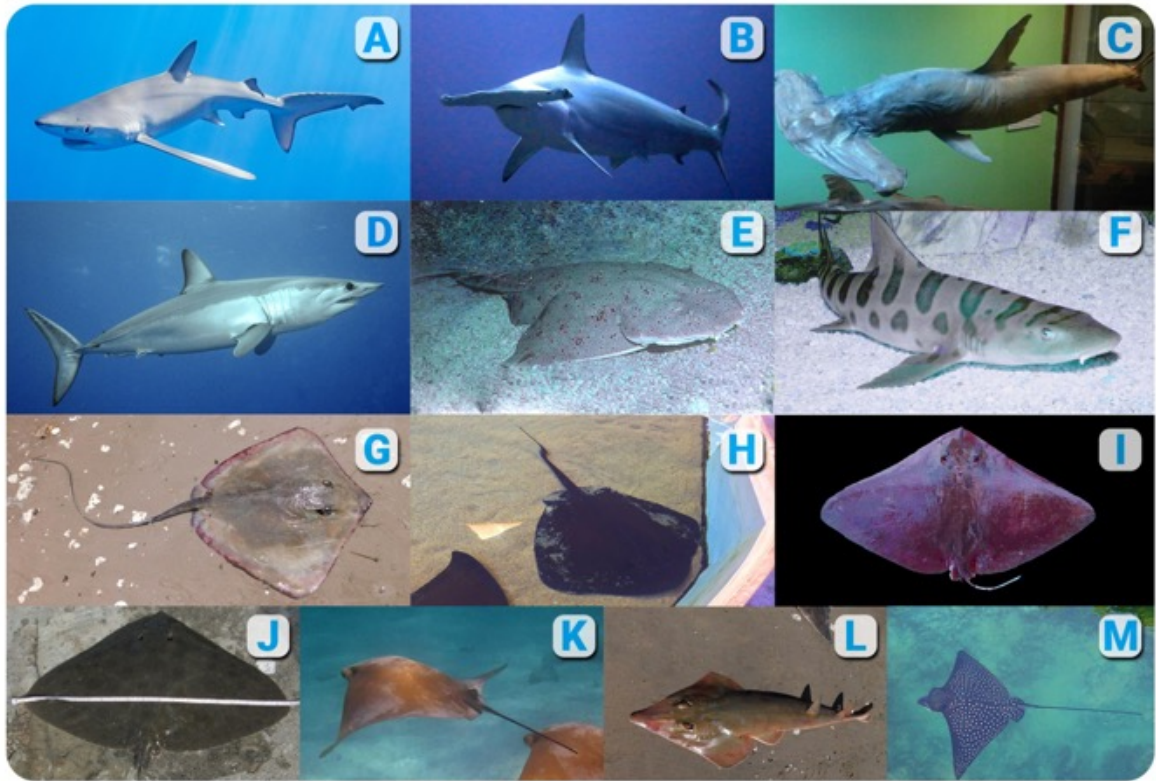


Figura 4. Especies comunes de tiburones y rayas del golfo de California. (A) *Prionace glauca* (D. Delso), (B) *Sphyrna lewini* (K. Lino), (C) *Sphyrna zygaena* (E. Dénes). (D) *Isurus oxyrinchus* (P. Doll), (E) *Squatina californica* (T. Chess/NOAA), (F) *Mustelus henlei* (B. Gratwicke), (G) *Hypanus longus* (Proyecto Elasmobranquios FACIMAR-UAS), (H) *Hypanus dipterurus* (Coughdrop12), (I) *Gymnura crebripunctata* (CONABIO), (J) *Gymnura marmorata* (J. Groenhof), (K) *Rhinoptera steindachneri*, (S. Ryan), (L) *Pseudobatos glaucostigma* (Proyecto Elasmobranquios FACIMAR-UAS), (M) *Aetobatus laticeps* (Adavyd).

fresca, seca-salada o congelada en mercados regionales de los estados colindantes con el golfo de California y en algunos casos también llega a ser un producto de exportación.

Tiburones y rayas como objeto de estudio de la contaminación por metales pesados

Los tiburones y rayas se han convertido en especies de estudio por sus características biológicas de reproducción, longevidad, madurez sexual y hábitos alimentarios, las cuales permiten evaluar la acumulación de diversos contaminantes en sus tejidos. Esta información permite hacer inferencias sobre las fuentes y comportamiento de los contaminantes, efectos

cronológicos de su acumulación, salud de los ecosistemas, entre otros aspectos (Caçador *et al.* 2012). Los datos generados de estas evaluaciones permiten a las autoridades establecer medidas preventivas como niveles de riesgo, límites de consumo, valor nutricional, etc., que son comunicadas a la sociedad mexicana a través de normas oficiales, reglamentos (Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios, COFEPRIS) y recomendaciones a nivel internacional por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos y la Agencia de Protección Ambiental (FDA y EPA, por sus siglas en inglés).

En México, las investigaciones realizadas en tiburones y rayas han abarcado

diversos aspectos, como la conservación, biología reproductiva, hábitos alimenticios, evaluaciones pesqueras y también el estudio de contaminantes en sus tejidos. Los estudios de metales pesados en tiburones y rayas de importancia comercial en el golfo de California han mostrado información importante, sobre todo en el caso del mercurio. A lo largo de los años, diversos estudios han reportado las concentraciones de mercurio que contiene la carne de estas especies y al compararlo con las normas nacionales e internacionales (FDA=0.3 µg/g) se puede estimar cuáles son las especies cuyo consumo representa un mayor riesgo a la salud (Tabla I).

Perspectivas

Actualmente, los estudios en tiburones y rayas se enfocan en la determinación de metales pesados en la carne para determinar su inocuidad para el consumo humano. Sin embargo, se desconoce el impacto que tienen los metales pesados en la fisiología de los peces. Es por esto, que como parte de un proyecto de tesis de doctorado en la Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR) de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), se está determinando la concentración de As, Cd, Pb y Hg en tres especies de rayas del Golfo de California, y su efecto en el estrés oxidativo y defensas

antioxidantes, para determinar la condición de salud de los peces y su inocuidad para el consumo humano. Esto adicionalmente, permitirá inferir el estado de contaminación de la zona y eventualmente predecir el impacto de los metales pesados en los recursos pesqueros.

En este texto se describe de la manera sencilla, qué son los metales pesados, cómo se originan y dónde se encuentran, así como su impacto ecológico y toxicológico en tiburones y rayas que se encuentran en el golfo de California. Se destaca la importancia de este grupo de peces como fuente de alimento, y el eventual impacto de estos contaminantes en la salud humana. Consideramos de gran relevancia la divulgación de este conocimiento, del cual estamos seguros que resultará de gran interés tanto para el público en general, como para profesores, investigadores, y otros profesionales.

Destacamos tres principales ideas:

1. La influencia de las actividades productivas en los estados que rodean el golfo de California han contribuido de manera importante en la contaminación por metales pesados.
2. Los tiburones y rayas son un grupo de peces que pueden usarse como centinelas para hacer estudios de evaluación de la contaminación por metales pesados en los

Tabla I. Concentraciones de mercurio (µg g⁻¹ peso húmedo) en carne de rayas y tiburones del Golfo de California (Fuente: Salas-Garzón 2020).

Nombre científico	Nombre común	Concentración de Hg (µg/g)
<i>Rhinoptera steindachneri</i>	Raya tecolote	0.37
<i>Hypanus longus</i>	Raya látigo	4.46
<i>Pseudobatos productus</i>	Pez guitarra	0.24
<i>Prionace glauca</i>	Tiburón azul	0.22
<i>Sphyrna lewini</i>	Cornuda	0.22
<i>Mustelus henlei</i>	Cazón	0.08

ecosistemas marinos.

3. Estudiar las concentraciones de contaminantes en los tiburones y rayas del golfo de California nos ayudará a conocer el impacto de las actividades humanas, el riesgo de consumo de los alimentos marinos y la salud de las poblaciones de estos peces.

Referencias

- Abele, D., Zenteno-Savin, T. & J. P. Vazquez-Medina. 2011. Oxidative stress in aquatic ecosystems. John Wiley & Sons.
- Caçador, I., Costa, J. L., Duarte, B., Silva, G., Medeiros, J. P., Azeda, C. & M. J. Costa. 2012. Macroinvertebrates and fishes as biomonitors of heavy metal concentration in the Seixal Bay (Tagus estuary): which species perform better?. *Ecological Indicators* 19: 184-190.
- Comisión Nacional de Pesca. 2018. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- Das, D., Moniruzzaman, M., Sarbajna, A. y S.B. Chakraborty. 2017. Effect of heavy metals on tissue-specific antioxidant response in Indian major carps. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 24, 18010e18024.
- Salas-Garzón, K. Z. 2020. Mercurio (Hg) y Selenio (Se) en la guitarra espinosa, *Platyrrhinoideis triseriata* y en el gavián moteado, *Aetobatus laticeps* del noroeste del Pacífico mexicano. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Verdugo-Díaz, G. & I. Gárate-Lizarraga. 2018. Distribución de grupos funcionales de fitoplancton en la zona eufótica durante un ciclo anual en Bahía de La Paz, Golfo de California. *CICIMAR Oceanides* 33(1): 47-61.