

Una Salud en toxicología: El enfoque Una Salud en la protección del ambiente

One Health in toxicology: The One Health approach
in environmental protection

Recursos Naturales y Sociedad, 2024. Vol. 10 (1): 01-13. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.01.0001>

Daniela A. Murillo-Cisneros, Taryn E. Symon, Orlando Lugo-Lugo, Tania Zenteno-Savín*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Planeación Ambiental y Conservación. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096 – México

*Autor de correspondencia: tzenteno04@cibnor.mx, (612) 123-8502



Resumen

La toxicología se ha adaptado al enfoque Una Salud, que reconoce la interconexión entre la salud humana, animal y ambiental. Bajo este enfoque, la toxicología busca entender cómo las sustancias tóxicas afectan a los seres vivos a diferentes niveles. Evaluaciones más completas de riesgos asociados a la presencia de agentes tóxicos, el uso de especies centinelas como indicadores tempranos y la colaboración interdisciplinaria son pilares fundamentales para esta perspectiva. La toxicología en el enfoque “Una Salud” contribuye a una comprensión más holística para la protección de la salud en todos los niveles de la vida.

Palabras clave: Colaboración, contaminantes, especies centinela, interdisciplinaria, toxicología, transdisciplinaria, Una Salud.

Abstract

Toxicology has been adapted to the One Health approach, which recognizes human, animal, and environmental health interconnections. Under this approach, toxicology seeks to understand how toxic substances affect living organisms at different levels. More comprehensive risk assessments, the use of sentinel species as early indicators, and interdisciplinary collaborations are fundamental pillars of this perspective. Toxicology within the One Health approach contributes to a more holistic understanding of health protection at all levels of life.

Key words: Collaboration, contaminants, interdisciplinary, One Health, sentinel species, transdisciplinary, toxicology.

El concepto “Una Salud”

Actualmente todas las sociedades alrededor del mundo nos enfrentamos a enormes desafíos que exigen grandes acciones (ej. contaminación, cambio climático, enfermedades infecciosas, seguridad alimentaria, entre otros). Por ello, es imperativo integrar conocimientos y habilidades de distintas disciplinas para abordar eficazmente retos como, por ejemplo, enfermedades descontroladas, tanto infecciosas como no infecciosas y multifactoriales (Aguirre et al., 2016). Hoy en día, hay un creciente reconocimiento de que los problemas de salud humana, animal y ambiental están estrechamente interconectados y no pueden abordarse de forma aislada; así surgió un enfoque innovador conocido como “One Health” en inglés, “Una Salud” en español (Figura 1; van Helden et al., 2013). Aunque el término “Una Salud” es relativamente reciente (desde 2003), el

concepto se originó con los inicios de la medicina (Aguirre et al., 2016). El concepto “Una Salud” es un enfoque integrador y multidisciplinario que fomenta la colaboración interdisciplinaria al reunir un amplio espectro de experiencia incluyendo a veterinarios, médicos, biólogos, epidemiólogos, toxicólogos, ecólogos, entre otros (Buttke, 2011; Pérez y Pierce Wise Sr., 2018).

Este enfoque busca diseñar e implementar acciones y políticas trabajando a nivel local, nacional y global para lograr “Una Salud” óptima para las personas, los animales, las plantas y el ambiente (Buttke, 2011; van Helden et al., 2013).

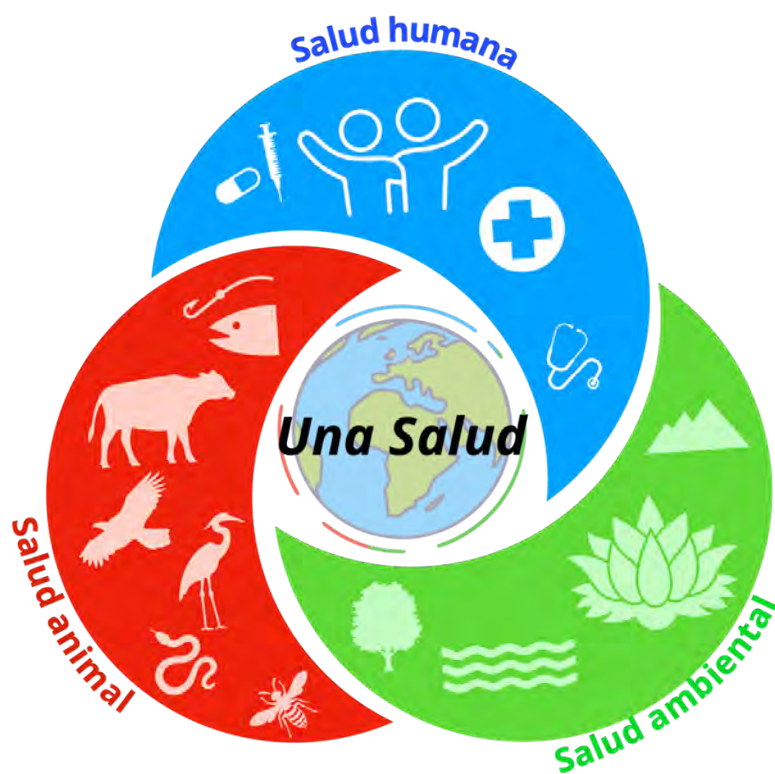


Figura 1. El enfoque “Una Salud” reconoce que la salud humana, animal y ambiental están interconectadas.

Toxicología “Una Salud”

Actualmente, tanto las industrias como las autoridades reguladoras y gobiernos se encuentran en la urgente necesidad de evaluar de manera eficiente los posibles efectos

perjudiciales de los productos químicos generados por dichas industrias. Esto implica implementar de manera proactiva enfoques metodológicos innovadores para llevar a cabo esta tarea (Magurany et al., 2023).

Históricamente, el enfoque “Una Salud” ha prestado mayor atención a las enfermedades zoonóticas y ha puesto menos atención a la exposición de animales, humanos y el ambiente a sustancias tóxicas, así como a la relación entre esta exposición y las enfermedades en los humanos, animales y su impacto sobre los ecosistemas asociados a sustancias químicas y cómo el concepto de “Una Salud” podría aplicarse en estas situaciones (Buttke, 2011; Dinis-Oliveira, 2023b). En este contexto, la toxicología, la ciencia que estudia los efectos dañinos de sustancias químicas en los seres vivos y el ambiente, desempeña un papel fundamental al analizar los efectos de las sustancias químicas en la salud de los



seres humanos, los animales y los ecosistemas, lo que ha llevado a acuñar el concepto de *Toxicología “Una Salud”* (Figura 2).

Dicho concepto reconoce la interconexión entre seres humanos, animales y ambiente y cómo los xenobióticos (una sustancia que no se produce naturalmente o se espera que no esté presente dentro de un organismo) pueden iniciar un efecto en cadena que afecta a la salud y el bienestar de humanos, animales y el ambiente (Dinis-Oliveira, 2023a).

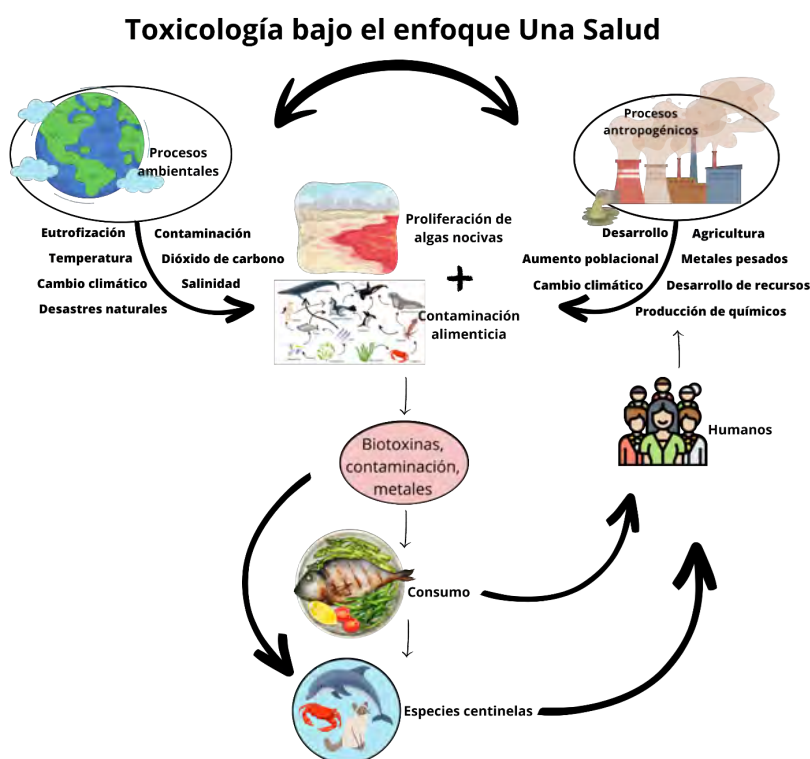


Figura 2. La relación de la salud ambiental, animal y humana bajo el contexto de Toxicología “Una Salud”.

Casos de Estudio en Toxicología “Una Salud”

Algunas tragedias del pasado han resaltado la importancia del concepto de “Una Salud” aplicado a la toxicología; como por ejemplo, el caso de la intoxicación masiva por exposición al metilmercurio en el pueblo de la Bahía de Minamata, Japón en los 1950s (Beasley, 2009; Kahn, 2017).

El caso comenzó en 1932 con el uso de mercurio como catalizador en una fábrica y en 1951, un nuevo co-catalizador produjo directamente metilmercurio. Poco después se empezaron a observar peces muertos flotando en la Bahía y una disminución en las capturas de los pescadores (Beasley, 2009).

Para 1953, notaron que los gatos que consumían mariscos de la Bahía mostraban descoordinación grave y convulsiones, conocidos hoy como los “gatos danzantes”, las aves marinas y los cuervos caían en picada al mar (Aguirre et al., 2016). En 1956, se observaron niños con síntomas neurológicos, incluyendo convulsiones y dificultad para hablar y caminar (Hachiya, 2006).

En 1957, se experimentó con gatos a los cuales alimentaron con peces y mariscos de la Bahía de Minamata; se observaron los mismos síntomas. En 1959, el síndrome en niños se diagnosticó como envenenamiento por

metilmercurio y la fuente puntual del contaminante se identificó en 1961, veintinueve años después; sin embargo, la compañía continuó liberando metilmercurio hasta 1968 (Aguirre et al., 2016). Este caso ejemplifica, de manera contundente, cómo los contaminantes industriales pueden biomagnificarse en los ecosistemas acuáticos. Los peces flotantes, envenenados y sin vida, además de los depredadores y carroñeros afectados, debieron haber actuado como centinelas de la salud del ecosistema y señales de alarma durante este episodio de enfermedad ambiental, antes de que afectara la salud de la población humana (Dinis-Oliveira, 2023c). Derivado de los eventos en Minamata, en 2013 se creó el convenio de Minamata sobre la Contaminación por Mercurio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, un instrumento legalmente vinculante a nivel mundial que tiene como objetivo

“proteger la salud humana y el ambiente de los efectos del mercurio” (Aguirre et al., 2016). Otro ejemplo de esto es la enfermedad *Itai-itai* causada por contaminación ambiental por cadmio proveniente de fuentes industriales en Japón. El brote de la enfermedad *Itai-itai* comenzó alrededor de 1912 y ocurrió en la ciudad de Fuchu y la cuenca circundante del río Jinzu en la Prefectura de Toyama, Japón. Los desechos de la minería que contenía cadmio fueron arrojados al río Jinzu los cuales fueron transportados río abajo, contaminando todo a su paso; el cadmio se absorbió a través de las raíces de las plantas y se bioacumuló en los plantíos de arroz. Los residentes estuvieron expuestos a altas concentraciones de cadmio vía ingesta de arroz y consumo del agua del río. Como resultado, la gente en esa población comenzó a desarrollar la enfermedad *Itai Itai*, caracterizada por trastornos renales, osteomalacia y osteoporosis; los pacientes

experimentaron deformación ósea, dolor intenso relacionado con los efectos óseos y una esperanza de vida más corta (Nishijo et al., 2017).

De manera similar a los metales, los contaminantes orgánicos persistentes (POPs por sus siglas en inglés) son sustancias químicas altamente tóxicas que causan efectos adversos para la salud en los seres humanos, la vida silvestre y el ambiente; de ellos, el diclorodifeniltricloroetano (DDT) y los bifenilos policlorados (PCBs) son probablemente los más conocidos por el público (Stockholm Convention, 2019; US EPA, 2023). En 1940, el uso de DDT se volvió común como pesticida; sin embargo, pronto se hizo evidente la capacidad de este POP para bioacumularse. Los informes científicos y de los medios de comunicación se centraron fuertemente en los efectos adversos y en particular la disminución en la reproducción exitosa, observados en muchas especies de aves, en particular



las rapaces, causada por el dramático adelgazamiento de las cáscaras de sus huevos (Stockholm Convention, 2019).

Con un mayor temor por la vida silvestre y la salud humana, después de 32 años de uso, la EPA de EE. UU. prohibió la fabricación y uso de DDT en 1972 (US EPA, 2023). Sin embargo, este pesticida tóxico todavía se usa en ciertas regiones, mientras que la contaminación heredada permanece aún en regiones que han prohibido su uso (Stockholm Convention, 2019), ejemplo de esto es el caso a continuación. Varios estudios han indicado que las orcas (*Orcinus orca*) son uno de los mamíferos marinos más contaminados con PCBs del mundo (Ross *et al.*, 2000; Jepson *et al.*, 2016) como consecuencia de su posición elevada dentro de la cadena trófica (Figura 3); Ross *et al.*, 2000; Hickie *et al.*, 2007; Desforges *et al.*, 2018). La exposición a los PCBs disminuye el éxito reproductivo y la respuesta inmune en los

mamíferos marinos (Ross *et al.*, 1996; Ross, 2006; Desforges *et al.*, 2018). En consecuencia, el estudio de Desforges *et al.* (2018) predijo un colapso global de la población de orcas debido a la contaminación por PCB, debido a los efectos en la reproducción y la función inmunológica que amenazan la viabilidad a largo plazo de más del 50% de las poblaciones mundiales de orcas.

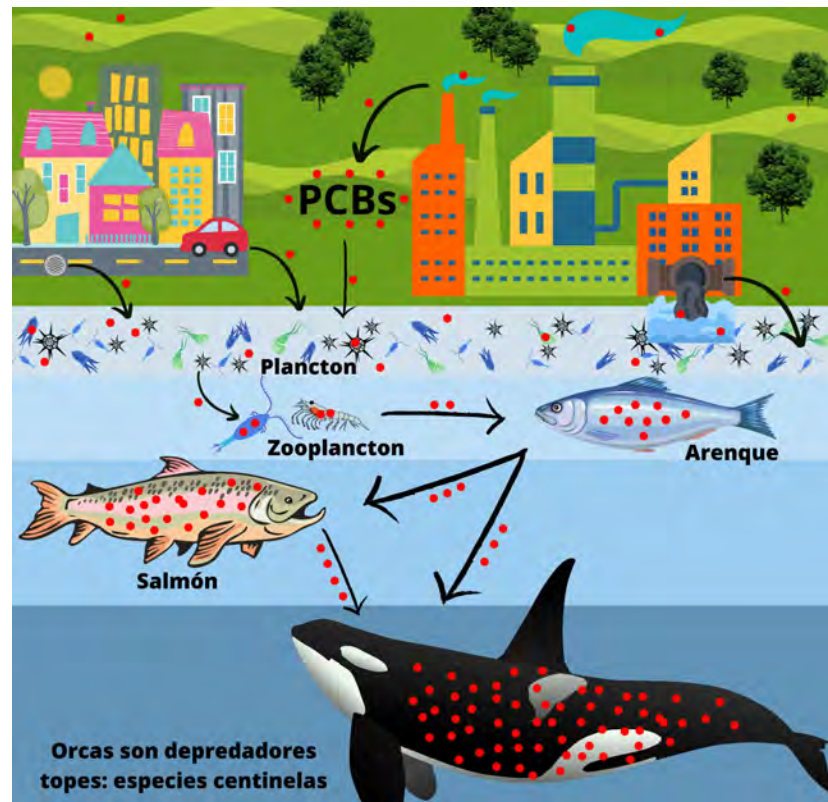


Figura 3. Proceso de biomagnificación de los bifenilos policlorados (PCBs) en el ambiente marino. Figura modificada de Washington Department of Fish and Wildlife, 2023.

De manera similar, se sugirió que altas cargas de PCB tendrían un efecto significativo a nivel poblacional en las especies de cetáceos europeos, probablemente causando disminuciones en la población y suprimiendo la recuperación poblacional (Jepson *et al.*, 2016). Lamentablemente, aunque ya no se producen, todavía existen aproximadamente el 80% de las reservas mundiales de los PCBs (Desforges *et al.*, 2018), lo que indica que este contaminante y su contaminación heredada (Ross, 2006) pueden seguir desempeñando un papel fundamental en el ambiente, la

vida silvestre y los humanos que dependen de él durante muchos años.

Otro ejemplo sobre la importancia del concepto de “Una Salud” aplicado a la toxicología incluye al ganado. En 1973, se mezclaron accidentalmente entre 500 y 1000 libras de un producto de bifenilos polibromados (PBBs) con alimento para ganado en Michigan, EE. UU, lo que hizo evidente que esta familia de sustancias químicas es tóxica (Carter, 1976). Aunque un grupo designado por el gobierno concluyó que los PBBs no tenía un efecto identificable en la salud humana y animal (Fries, 1985), los agricultores con rebaños contaminados informaron que su ganado presentaba una disminución de la producción de leche, pérdida de peso, desarrollo anormal de las pezuñas, e incluso, muerte (Carter, 1976; Fries, 1985). Aproximadamente un año y medio después de la identificación de la causa, se habían puesto en cuarentena alrededor de 500 granjas,

mientras que se sacrificaban alrededor de 1.5 millones de pollos, 29800 bovinos, 5920 cerdos y 1470 ovejas y se eliminaron 865 toneladas de piensos, 5 millones de huevos y 17990, 2630 y 34000 libras de queso, mantequilla y productos lácteos en polvo, respectivamente (Carter, 1976; US EPA 2023). Aunque en estas épocas siguió habiendo controversia sobre si se experimentaron efectos adversos para la salud en los seres humanos después de la exposición a los PBBs, varios estudios revelaron que los PBBs se biomagnifican fácilmente y pueden transferirse a través de las membranas placentarias, el suero del cordón umbilical y la leche materna (Fries, 1985).

Los animales como centinelas dentro del enfoque “Una Salud”

Junto con el crecimiento poblacional, desarrollo industrial y tecnológico, el cambio climático, etc., hay una mayor preocupación por la salud de los ecosistemas en el planeta, y si pensamos en los ecosistemas acuáticos, éstos constituyen el sumidero para muchos contaminantes antropogénicos (ej. productos farmacéuticos y de cuidado personal, plaguicidas, metales pesados, etc.; Ramírez-Ayala et al., 2020). Los animales desempeñan un papel fundamental como centinelas de la contaminación ambiental, pero, ¿qué son las especies centinelas? Las especies centinelas son organismos vivos utilizados para detectar de manera temprana posibles tendencias y efectos negativos actuales o futuros; además, nos permiten tener una caracterización más precisa y, potencialmente, gestionar de manera más efectiva los impactos perjudiciales para la salud humana y animal (Figura 4; Bossart, 2006). El ejemplo clásico de una especie centinela son los canarios (varias especies, como *Serinus canaria*) que antiguamente se utilizaban para monitorear la calidad del aire en las minas de carbón, advirtiendo a los mineros sobre los niveles de metano o monóxido de carbono (Barry, 2013). Invertebrados como crustáceos y moluscos bivalvos también actúan como especies centinelas, proporcionando



información valiosa sobre la salud del ecosistema acuático. Su capacidad para acumular contaminantes y reflejar cambios en el ambiente los convierte en indicadores clave de la calidad ambiental (Behringer and Duermit-Moreau, 2021). También, varios estudios han mostrado la importancia de diferentes especies de vertebrados utilizados como excelentes especies centinelas de la exposición a contaminantes ambientales y de la salud humana (Bossart, 2006, 2011; Hazen et al., 2019).



Figura 4. Ejemplos de especies centinelas en a) ambientes marinos (imagen modificada de Fossi and Panti, 2017) y b) ambientes terrestres, acuáticos y aéreos.

Por ejemplo, en 1971, los lobos marinos de California (*Zalophus californianus*) alertaron sobre los niveles sumamente elevados de DDT de las aguas frente a las costas de California, EE. UU. y Baja California, México, sitios que recibían las escorrentías de la agricultura de los valles de California donde el DDT era usado intensivamente (Le Boeuf y Bonnell, 1971). A pesar del uso y relevancia de las especies centinelas, los signos que los animales pueden llegar a presentar con frecuencia pasan inadvertidos o no son tomados en cuenta por las autoridades pertinentes. Un claro ejemplo de esto es el caso de los gatos danzantes de la Bahía de Minamata, Japón del que hablamos anteriormente (sección Casos

de Estudio). Los peces también son excelentes centinelas de la calidad del agua y el ambiente donde habitan, de modo que, observar una alta mortalidad de peces sin ninguna razón aparente (ej. florecimientos algales, derrames de petróleo, etc.), es un obvio indicador de exposición a contaminantes (Christophe et al., 2015).

Por otra parte, el Comité del Consejo Nacional de Investigación (EE. UU.) sobre animales como monitores de peligros ambientales definió **Sistemas de Centinelas Animales** como “sistemas en que los datos de animales expuestos a contaminantes en su entorno ambiental son regular y sistemáticamente colectados y analizados y pueden utilizarse para identificar posibles riesgos para la salud de otros animales o seres humanos” (National Research Council, 1991). Además, dependiendo de la especie centinela en cuestión, ésta puede proporcionar información sobre los posibles efectos adversos y, si fisiológicamente

es lo suficientemente similar a los humanos, puede ofrecer información sobre los mecanismos de toxicidad a contaminantes específicos (Schwacke et al., 2013). Para ser considerada una “especie centinela,” de acuerdo a Schwacke et al. (2013) y National Research Council (1991) debe reunir ciertas características que se describen a continuación:

1. *Facilidad de muestreo.* Una especie centinela debe ser fácilmente capturada, las muestras deben ser de fácil acceso y los individuos pueden ser seleccionados al azar de la población.
2. *Distribución adecuada.* La especie debe tener una distribución amplia para permitir el análisis de tendencias geográficas, o para estudios localizados debe tener una distribución que se superponga con el agente de preocupación. La distribución adecuada dependerá del agente de preocupación y del propósito específico del monitoreo.
3. *Tamaño de población y densidad suficientes.* La población de una especie centinela debe ser lo suficientemente grande como para sostener la recolección requerida por un estudio de monitoreo sin tener un impacto adverso sobre la población. Especies raras o en peligro de extinción pueden no ser buenos candidatos como centinelas ya que generalmente son difíciles de localizar, se encuentran bajo un estrés poblacional que podría ocultar o enmascarar los efectos de la contaminación (ej. la vaquita marina).
4. *Sensibilidad para la bioacumulación y/o biomagnificación.* La especie debe tener una respuesta medible al contaminante en cuestión; es decir, ser particularmente sensible a la acumulación del agente en los tejidos o estar lo suficientemente alta en la cadena alimentaria como para ser susceptible a la biomagnificación.
5. *Posición trófica similar a la de los humanos o como animal de consumo.* Los animales en una posición trófica similar a la de los humanos y que tienen presas similares a las consumidas por los humanos pueden proporcionar un índice integrado para exposiciones potenciales. Alternativamente, los animales consumidos por los humanos proporcionan una indicación directa de la dosis potencial.
6. *Indicador en la escala espacial adecuada.* Algunas especies serán mejores indicadores del entorno local inmediato, mientras que otras pueden integrar la información de una región geográfica. El centinela debe ser elegido en función de su capacidad para representar la escala espacial adecuada, es decir, debe tener un territorio o rango de distribución que se superponga con el área a ser monitoreada.
7. *Infraestructura y protocolos existentes para la recolección, análisis y archivo consistente de datos.* La recolección y procesamiento consistentes de muestras garantizarán la validez de una compara-



ción espacial y temporal y son esenciales para la vigilancia a largo plazo. Las especies centinelas representan un recurso esencial en la caja de herramientas de la toxicología ambiental y el enfoque “Una Salud”. Al colaborar con científicos, médicos, ecólogos y expertos en salud pública, estas especies nos guían hacia una comprensión más completa de los riesgos tóxicos que enfrentamos y nos ayudan a tomar medidas proactivas para mantener la salud de los ecosistemas y sus habitantes, humanos, plantas y animales por igual (Kahn, 2017).

Perspectivas y consideraciones

En conclusión, la toxicología bajo el enfoque “Una Salud” representa un paso adelante en la comprensión y abordaje de los efectos tóxicos en la salud humana, animal y ambiental. La evidente interconexión de estos componentes refleja la complejidad real de los sistemas vivos y subraya la necesidad de una colaboración estrecha entre diferentes campos de estudio. Esta perspectiva integral nos permite anticipar y abordar los riesgos tóxicos de manera más efectiva, contribuyendo así a la protección y preservación de la salud, de una manera sostenible, en todos los niveles de la vida.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT; Fronteras 2013-01-2305) y Texas A&M University por el apoyo financiero. TES es beneficiario de una beca de posgrado de CONAHACYT (número: 802788; CVU: 922584). Los autores son miembros de la red CYTED RIESCOS (ref. 419RT0578). Los autores agradecen al Dr. R. Gaxiola-Robles (IMSS) y Dra. C.J. Hernández-Camacho (CICIMAR-IPN) por su asesoría, y a los estudiantes del laboratorio de estrés oxidativo del CIBNOR por su apoyo y colaboración.

Bibliografía

Aguirre, A. A., Beasley, V. R., Augspurger, T., Benson, W. H., Whaley, J., and Basu, N. (2016). One health- Transdisciplinary opportunities for SETAC leadership in integrating and improving the health of people, animals, and the environment. *Environ. Toxicol. Chem.* 35, 2383–2391. doi:10.1002/etc.3557.

- Barry, M. (2013). Canaries in the coal mine. *Eur. Respir. J.* 42, 1469–1471.
doi:10.1183/09031936.00137913.
- Beasley, V. (2009). “One toxicology”, “ecosystem health” and “one health”. *Vet. Ital.* 45, 97–110.
Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20391393>.
- Behringer, D. C., and Duermit-Moreau, E. (2021). Crustaceans, One Health and the changing ocean. *J. Invertebr. Pathol.* 186, 107500. doi:10.1016/j.jip.2020.107500.
- Bossart, G. D. (2006). Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Oceanography* 19, 44–47.
- Bossart, G. D. (2011). Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Vet. Pathol.* 48, 676–690. doi:10.1177/0300985810388525.
- Buttke, D. E. (2011). Toxicology, Environmental Health, and the “One Health” Concept. *J. Med. Toxicol.* 7, 329–332. doi:10.1007/s13181-011-0172-4.
- Christophe, M., Rachid, A., and Mario, L. (2015). “Fish as Reference Species in Different Water Masses,” in *Aquatic Ecotoxicology* (Elsevier), 309–331. doi:10.1016/B978-0-12-800949-9.00013-9.
- Desforges, J. P., Hall, A., McConnell, B., Rosing-Asvid, A., Barber, J. L., Brownlow, A., et al. (2018). Predicting global killer whale population collapse from PCB pollution. *Science (80-)*. 361, 1373–1376. doi:10.1126/science.aat1953.
- Dinis-Oliveira, R. J. (2023a). II TOXRUN International Congress 2023 | No Boundaries for Toxicology: One Health, One Society, One Planet. *Sci. Lett.* 1, 3–4. doi:10.48797/sl.2023.48.
- Dinis-Oliveira, R. J. (2023b). No Boundaries for Toxicology in Clinical Medicine: One Health, One Society and One Planet for All of Us. *J. Clin. Med.* 12, 3–4. Available at: <https://publicacoes.cespu.pt/index.php/sl/article/view/48>.
- Fossi, M. C., and Panti, C. (2017). “Sentinel Species of Marine Ecosystems,” in *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science* (Oxford University Press), 1–31. doi:10.1093/acrefore/9780199389414.013.110.
- Hachiya, N. (2006). The history and the present of Minamata disease - Entering the second half a century. *Japan Med. Assoc. J.* 49, 112–118.
- Hazen, E. L., Abrahms, B., Brodie, S., Carroll, G., Jacox, M. G., Savoca, M. S., et al. (2019). Marine top predators as climate and ecosystem sentinels. *Front. Ecol. Environ.* 17, 565–574. doi:10.1002/fee.2125.
- Hickie, B. E., Ross, P. S., Macdonald, R. W., and Ford, J. K. B. (2007). Killer Whales (*Orcinus orca*) Face Protracted Health Risks Associated with Lifetime Exposure to PCBs. *Environ. Sci. Technol.* 41, 6613–6619. doi:10.1021/es0702519.



- Jepson, P. D., Deaville, R., Barber, J. L., Aguilar, À., Borrell, A., Murphy, S., et al. (2016). PCB pollution continues to impact populations of orcas and other dolphins in European waters. *Sci. Rep.* 6, 1–17. doi:10.1038/srep18573.
- Kahn, L. H. (2017). Perspective: The one-health way. *Nature* 543, S47–S47. doi:10.1038/543S47a.
- Le Boeuf, B. J., and Bonnell, M. L. (1971). DDT in California Sea Lions. *Nature* 234, 108–110. doi:10.1038/234108a0.
- Magurany, K. A., Chang, X., Clewell, R., Coecke, S., Haugabrooks, E., and Marty, S. (2023). A pragmatic framework for the application of new approach methodologies in one health toxicological risk assessment. *Toxicol. Sci.* 192, 155–177. doi:10.1093/toxsci/kfad012.
- National Research Council (1991). *Animals as Sentinels of Environmental Health Hazards*. Washington, D.C.: National Academies Press doi:10.17226/1351.
- Nishijo, M., Nakagawa, H., Suwazono, Y., Nogawa, K., and Kido, T. (2017). Causes of death in patients with Itai-itai disease suffering from severe chronic cadmium poisoning: a nested case–control analysis of a follow-up study in Japan. *BMJ Open* 7, e015694. doi:10.1136/bmjopen-2016-015694.
- Pérez, A., and Pierce Wise Sr., J. (2018). One Environmental Health: an emerging perspective in toxicology. *F1000Research* 7, 918. doi:10.12688/f1000research.14233.1.
- Ramírez-Ayala, E., Arguello-Pérez, M. A., Tintos-Gómez, A., Pérez-Rodríguez, R. Y., Díaz-Gómez, J. A., Borja-Gómez, I., et al. (2020). Review of the biomonitoring of persistent, bioaccumulative, and toxic substances in aquatic ecosystems of Mexico: 2001-2016. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 48, 705–738. doi:10.3856/vol48-issue5-fulltext-2461.
- Ross, P., Ellis, G., Ikonou, M., Barrett-Lennard, L., and Addison, R. (2000). High PCB Concentrations in Free-Ranging Pacific Killer Whales, *Orcinus orca*: Effects of Age, Sex and Dietary Preference. *Mar. Pollut. Bull.* 40, 504–515. doi:10.1016/S0025-326X(99)00233-7.
- Ross, P., De Swart, R., Addison, R., Van Loveren, H., Vos, J., and Osterhaus, A. (1996). Contaminant-induced immunotoxicity in harbour seals: Wildlife at risk? *Toxicology* 112, 157–169. doi:10.1016/0300-483X(96)03396-3.
- Ross, P. S. (2006). Fireproof killer whales (*Orcinus orca*): flame-retardant chemicals and the conservation imperative in the charismatic icon of British Columbia, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63, 224–234. doi:10.1139/f05-244.
- Schwacke, L. H., Gulland, F. M., and White, S. (2013). “Sentinel Species in Oceans and Human Health,” in *Environmental Toxicology* (New York, NY: Springer New York), 503–528. doi:10.1007/978-1-4614-5764-0_18.

Stockholm Convention, 2019. Protecting human health and the environment from persistent organic pollutants. <https://chm.pops.int/Home/tabid/2121/Default.aspx>

US EPA, 2023. Persistent Organic Pollutants: A Global Issue, A Global Response. <https://www.epa.gov/international-cooperation/persistent-organic-pollutants-global-issue-global-response>

van Helden, P. D., van Helden, L. S., and Hoal, E. G. (2013). One world, one health. *EMBO Rep.* 14, 497–501. doi:10.1038/embor.2013.61.

Washington Department of Fish and Wildlife, 2023. Marine toxic contaminants. <https://wdfw.wa.gov/species-habitats/science/marine-toxics>

Cita

Murillo-Cisneros D.A., T. E. Symon, O. Lugo-Lugo y T. Zenteno-Savín. Una Salud en toxicología: El enfoque Una Salud en la protección del ambiente. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2024. Vol. 10 (1): 01-13. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.01.0001>

Sometido: 05 de septiembre de 2023

Aceptado: 13 de noviembre de 2023

Editor asociado: Dr. Felipe De Jesús Ascencio Valle

Editor ejecutivo: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández