

# Contaminación de los **sistemas** **acuáticos en México**

¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?

Directora de la obra:  
Flor Elisa del Rosario Árcega Cabrera



ENP



Universidad Nacional Autónoma de México  
Unidad de Química Sisal de la Facultad de Química (UQS-UNAM)  
Escuela Nacional Preparatoria

# **Contaminación de los sistemas acuáticos en México:**

**¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?**



ENP



Universidad Nacional Autónoma de México  
Unidad de Química Sisal de la Facultad de Química (UQS-UNAM)  
Escuela Nacional Preparatoria

# Contaminación de los sistemas acuáticos en México:

¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?

**Directora de la obra:**

Flor Elisa del Rosario Árcega Cabrera

**Autores:**

Aída Isabel Sánchez Salas

Ana Patricia García García

Azucena Dótor Almazán

Andrea Betsabé Juárez Morales

Elsa Noreña Barroso

Ivonne Trejo Ventura

Ismael Alberto Ocegüera-Vargas

Leticia Esmeralda Cruz Escalante

María Concepción Gómez Maldonado

María Luz Chavacán Ávila

Mariela Méndez Isidro

Mayra Carolina Reyes Santillán

Mayte Flores Cortés

Miriam Elizabeth Lamas Cosío

Este libro de divulgación científica se elaboró con el apoyo del proyecto **PE203723** *Enfoque multidisciplinario en el desarrollo de material didáctico a nivel bachillerato para el fomento del interés y acción ante la contaminación de los sistemas acuáticos de México* de la Universidad Nacional Autónoma de México y bajo los términos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME).

Esta publicación contribuye al programa de estudios de la Escuela Nacional Preparatoria, para el programa de Biología V, clave 1613, 6º semestre del área II Ciencias Biológicas y de la Salud, campo del conocimiento Ciencias Naturales.

Dirección General de la Publicación: Dra. Flor Árcega Cabrera

<https://orcid.org/0000-0001-9794-833X>

Citar como: Árcega-Cabrera F., Chavacán-Ávila M.L., Cruz-Escalante L.E., Flores-Cortés M., García-García A.P., Gómez-Maldonado M.C., Juárez-Morales A.B., Méndez-Isidro M., Reyes-Santillán M.C., Sánchez-Salas A.I., Trejo-Ventura I., Ocegüera-Vargas I.A., Noreña-Barroso, E., Dótor-Almazán A., Lamas-Cosío M.E. (2024). *Contaminación de los sistemas acuáticos en México: ¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?* México: Facultad de Química, UNAM.

Fotografías: Agradecemos la colaboración de @Benjamin Magaña (portada) y @Miguel Ángel Osnaya (contraportada) por sus fotografías.

Primera edición: 23 de mayo de 2024

D.R. © 2024 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

ISBN: 978-607-30-9785-7

Tamaño: 58 MB

Tipo de impresión: PDF

Tiraje: 1 (web)

“Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales”.

Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química.

Hecho en México

# Contenido

Presentación .....	9
<b>Capítulo 1</b>	
Contaminación acuática. Generalidades .....	13
<b>Capítulo 2</b>	
Los sistemas acuáticos de México .....	25
<b>Capítulo 3</b>	
Contaminación acuática por metales pesados .....	43
<b>Capítulo 4</b>	
Contaminación acuática por hidrocarburos .....	61
<b>Capítulo 5</b>	
Contaminación acuática por plaguicidas .....	79
<b>Capítulo 6</b>	
Contaminación acuática por nutrientes .....	93
<b>Capítulo 7</b>	
Contaminación acuática por microplásticos .....	113
<b>Capítulo 8</b>	
Contaminación acuática por contaminantes emergentes .....	127
Autores .....	141
Índice de figuras.....	143
Índice de tablas .....	151

# Presentación

**Biól. María Dolores Valle Martínez**  
**Directora General**  
**Escuela Nacional Preparatoria, UNAM**

Los libros de divulgación científica en el bachillerato fomentan el interés y la comprensión de conceptos científicos entre el estudiantado ya que, al presentar ciertas temáticas de manera accesible y atractiva, pueden despertar la curiosidad y el entusiasmo por el aprendizaje científico, proporcionándoles una base sólida para sus futuros estudios en campos afines. Además, al abordar temas de relevancia actual, estos materiales permiten una mejor comprensión del mundo que nos rodea, promoviendo así la alfabetización científica y la capacidad de tomar decisiones informadas en nuestro futuro próximo.

En ello radica la relevancia de esta publicación titulada, *Contaminación de los sistemas acuáticos en México: ¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?*, producto del proyecto **PE203723: Enfoque multidisciplinario en el desarrollo de material didáctico a nivel bachillerato para el fomento del interés y acción ante la contaminación de los sistemas acuáticos de México, financiado con el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual pretende mejorar la comprensión de la ciencia y cultivar un interés duradero en el aprendizaje científico que prepare al estudiantado para participar de manera consciente en problemas actuales de nuestra sociedad.**

Este material, además de ser una propuesta que busca contribuir al Programa de Biología V del Plan de Estudios de la Escuela Nacional Preparatoria, a su vez, promueve el enfoque multidisciplinario que favorece la comprensión más profunda y completa de los temas, pues permite al estudiantado ver las conexiones entre diferentes áreas del conocimiento desde una comprensión más holística; por otra parte, desarrolla habilidades para abordar problemas complejos desde diversas perspectivas, lo cual es fundamental en un mundo donde los desafíos rara vez se limitan a una sola área del conocimiento. De igual modo, pone en práctica habilidades como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la comunicación, que son esenciales para el éxito, tanto en la educación superior como en el mundo laboral.

Asimismo, el material tiene como objetivo impulsar el interés y la acción ante la contaminación de los sistemas acuáticos entre estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria, lo cual promoverá entre la comunidad una mayor conciencia ambiental y se les capacitará para comprender la importancia de la conservación de los ecosistemas acuáticos para la vida en el planeta y así, lograr un cambio de actitud hacia el medioambiente que fomente acciones más responsables en relación con el uso del agua y la gestión de residuos. Agregando a lo anterior, también incita a participar activamente en la búsqueda de soluciones, tales como campañas de limpieza, proyectos de monitoreo de la calidad del agua, suma de esfuerzos para promover prácticas sostenibles en la gestión de recursos hídricos, o bien, impulsar el desarrollo de habilidades de investigación,

resolución de problemas y liderazgo, preparándolos para convertirse en ciudadanos comprometidos y agentes de cambio en temas ambientales. Por lo anterior, este trabajo pretende promover una mayor conciencia ambiental y, al mismo tiempo, brindar algunas herramientas para tomar medidas concretas en la protección y preservación de los ecosistemas acuáticos, todas ellas habilidades valiosas para abordar los desafíos ambientales.

Hoy más que nunca se vuelve fundamental tratar el tema de la crisis hídrica a nivel mundial, ya que representa una amenaza creciente debido a diversos factores como el cambio climático, el crecimiento de la población y la mala gestión de los recursos hídricos. En el caso de México, esta crisis se manifiesta en la sobreexplotación de mantos acuíferos, la contaminación de fuentes de agua y la escasez en varias regiones del país. De ahí, la importancia de este material, por su aporte e impacto en la comprensión, reflexión y acción para cuidar el agua, elemento esencial para la vida, la agricultura, la industria y el medioambiente. Por ello, es fundamental la adopción de medidas de conservación, la gestión sostenible de los recursos hídricos y la concientización sobre la importancia del agua para mitigar los impactos de esta crisis y garantizar así un suministro de agua adecuado para futuras generaciones.

Concluyo esta presentación haciendo un reconocimiento a todas y todos los docentes, tanto de la Unidad de Química Sisal de la Facultad de Química como de la Escuela Nacional Preparatoria, por el esfuerzo realizado para esta publicación que, estoy convencida, no sólo será de gran utilidad para el estudiantado, sino también disfrutarán los aprendizajes, reflexionarán sobre la problemática tratada y podrán tomar acciones en su entorno inmediato.



# Presentación

**Dr. Carlos Amador Bedolla**  
**Director**  
**Facultad de Química, UNAM**

El agua, la esencia misma de la vida en nuestro planeta, ¿qué ignoramos de ella?, ¿qué no estamos viendo en cada fluir de un arroyo cristalino o en cada vaso de agua que tomamos para saciar nuestra sed?, ¿cuál es esa red de desafíos que acechan bajo su superficie aparentemente tranquila de la que tal vez nunca hemos escuchado?

*Contaminación de los sistemas acuáticos en México, ¿qué es y qué puedo hacer yo para disminuirla?* es una obra que, escrita por un grupo de autores científicos, quienes comparten el compromiso de crear acciones que defiendan la riqueza natural incomparable de nuestro país, busca proveer de la información necesaria sobre el desafío que enfrenta México en la lucha por preservar la pureza de sus sistemas acuáticos. Desde microplásticos hasta productos químicos tóxicos invisibles, nuestras aguas dulces y saladas albergan una variedad de contaminantes que amenazan no sólo la salud de nuestros ecosistemas acuáticos, sino también la nuestra propia. ¿Qué vamos a hacer para tomar este desafío como nuestro y tomar acciones para defender la salud de nuestro planeta?

Dirigido a docentes de estudiantes jóvenes de bachillerato que buscan conocer lo que está en sus manos para asegurar un país abundante y limpio para el futuro, esta obra proporciona no sólo información detallada sobre la contaminación de los sistemas acuáticos en México, sino que también ofrece soluciones prácticas y ejercicios reflexivos, fácilmente incorporables a la rutina de enseñanza, diseñados para mejorar la docencia en este tema crucial. Entre sus páginas, exploraremos los diferentes contaminantes de los cuerpos de agua, sus causas, consecuencias y fuentes de contaminación, exponiendo las repercusiones devastadoras de la biodiversidad acuática y las alteraciones en el bienestar de la población.

Así mismo, se presentan estrategias y acciones que cualquier persona puede implementar en su vida diaria para contribuir a la reducción de la contaminación acuática. *Contaminación de los sistemas acuáticos en México, ¿qué es y qué puedo hacer yo para disminuirla?* es más que un libro: es una herramienta poderosa para la formación de futuros profesionales comprometidos con el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sustentable del país. A través de la educación de calidad y la acción, podemos marcar la diferencia y trabajar juntos hacia un futuro más limpio y próspero para todos.

# Capítulo 1

## Contaminación acuática. Generalidades



# Contaminación

## ¿Qué es?

Es la presencia de cualquier agente en tiempo y concentración tal que son nocivos para el sistema, alterando su equilibrio y dinamismo, lo que puede llegar a ser perjudicial para la vida.



¿Sabías que las actividades humanas son las que más contaminación generan?



CO<sub>2</sub>

## Tipos de agentes

### Físicos:

ruido, luces, temperatura, vibraciones y radiaciones.



### Químicos:

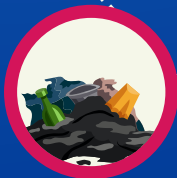
gases, vapores, aerosoles, metales y químicos en general.

### Biológicos:

virus, bacterias y hongos.



## Tipos de contaminación



### Suelo:

Una sustancia vertida en el suelo altera su estado natural.



### Hídrico:

Liberación de residuos sólidos o líquidos en el agua.



### Atmosférico:

Emisión de sustancias químicas a la atmósfera.



### Lumínica y acústica:

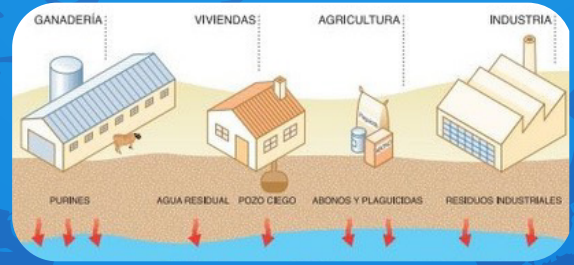
Ruido o iluminación artificial excesiva.

# Rutas de acceso



## Puntuales

Se da de manera directa vertiendo o depositando sustancias o sólidos ajenos al ambiente.



## Difusas

Son el resultado del arrastre de sólidos o sustancias por medio de lluvia, aire o actividad humana.

# Efectos en la salud

Dependen del tipo de contaminante en la salud y del periodo de exposición y pueden ser:

infecciones  
gastrointestinales y oculares

erupciones en la piel

afectaciones  
graves en órganos



cáncer

trastornos  
neurodegenerativos

problemas  
reproductivos

# ¿Qué se puede hacer?

## Consumo responsable

Eliminar el uso de desechables y sólo comprar los productos necesarios para nuestra vida diaria.



## Reusar

Dar el máximo uso a los objetos antes de desecharlos y reemplazar desechables por productos de reúso.

## Reciclaje

Compostear los residuos orgánicos y llevar a puntos verdes los demás residuos separados.



Orgánico Residuos peligrosos Papel



Inorgánico Metal Plásticos

# Contaminación

Se puede definir a la contaminación como la presencia de cualquier agente en tiempo y concentración tal que se vuelve nocivo para el sistema, alterando su equilibrio y dinamismo, lo que puede llegar a ser perjudicial para la vida (Palacios y Moreno, 2022).

La contaminación puede afectar la resistencia, resiliencia o el equilibrio dinámico de un sistema. El equilibrio dinámico es el punto de menor costo-beneficio en términos energéticos, el cual presenta variaciones constantes (su resistencia es la capacidad de soportar estas variaciones), pero cuando este equilibrio dinámico es afectado permanentemente, puede recuperarse y adquirir un nuevo equilibrio, lo que se denomina *resiliencia*; en caso de no hacerlo, se pierde dicho sistema (Castillo-Villanueva y Velázquez-Torres, 2015).

Los agentes o factores de contaminación pueden ser físicos, químicos o biológicos, y el mal manejo de los residuos de las actividades humanas promueve estos problemas de contaminación (Ahmadpour *et al.*, 2014).

- Agentes físicos: ruido, luces, temperatura, vibraciones o radiaciones.
- Agentes químicos: gases, vapores, aerosoles, metales, químicos en general.
- Agentes biológicos: bacterias, virus, hongos.

## Tipos de contaminación



**Figura 1-1.** Máquina de arado preparando la tierra para aplicar fertilizante.

### Contaminación del suelo

Se genera por toda aquella sustancia vertida en el suelo que modifica negativamente su equilibrio dinámico, un ejemplo es el uso de fertilizantes y plaguicidas en áreas de agricultura (**Figura 1-1**), o baterías que se tiran incorrectamente en la basura y que liberan sustancias nocivas que se filtran al suelo, afectando plantas y cultivos (Zúñiga, 1999).



**Figura 1-2.** Ejemplo de las emisiones de contaminación a la atmósfera.

### Contaminación atmosférica

Se produce a causa de la emisión de sustancias químicas a la atmósfera que como resultado afectan la calidad del aire (**Figura 1-2**), por ejemplo: gases del escape de coches, incendios, quema de basura, gases provenientes de fábricas, etc. (Ballester, 2005).



**Figura 1-3.** Ejemplo de la contaminación lumínica en las ciudades.

### Contaminación lumínica y acústica

Este tipo de contaminación se produce por cualquier ruido excesivo o iluminación artificial excesiva (**Figura 1-3**), provocando estrés, trastornos en los ciclos de sueño, pérdida de audición o disminución visual después de un tiempo prolongado de exposición; ejemplo de ello pueden ser: vallas publicitarias, construcciones y obras, minas a cielo abierto, torres eléctricas o alguna zona de bares (García-Gil *et al.*, 2012; García, 2014).



**Figura 1-4.** Ejemplo de aporte de contaminantes sólidos al agua.

### Contaminación hídrica

Afecta a ríos, lagos, lagunas y al océano. Se produce cuando se liberan residuos sólidos o líquidos en los cuerpos de agua (**Figura 1-4**). Puede incluso alcanzar los acuíferos que son depósitos subterráneos de donde usualmente se extrae agua para el uso y consumo humano (Toledo, 2002).

## Rutas de los contaminantes hacia el medioambiente

Existen dos vías principales de entrada de los contaminantes a los diferentes ambientes, se clasifican de la siguiente manera (Esquer *et al.*, 2021):

### Fuentes puntuales

Tienen un lugar de procedencia y entrada al sistema definidos (**Figura 1-5**). El tipo de entrada es de manera directa, es decir, vertiendo o depositando sustancias tóxicas o sólidos ajenos al sistema en altas concentraciones por un tiempo prolongado, como las tuberías de drenaje.



**Figura 1-5.** Ejemplo de distintos aportes puntuales de contaminación acuática.

## Fuentes difusas

Las fuentes difusas usualmente son el resultado del arrastre de los sólidos o sustancias por medio de la lluvia, el aire o cualquier otra actividad humana que transporte a los contaminantes de manera continua y en concentraciones inusuales (**Figura 1-6**). Por ejemplo, escurrimientos.



**Figura 1-6.** Ejemplo de los aportes de fuentes difusas de contaminación.

## Tipos de contaminantes

La calidad del agua de los sistemas acuáticos epicontinentales y marinos, generalmente, se ve afectada por distintos tipos de contaminantes que, de manera general, se conocen como:

- **Agroquímicos:** entre ellos están los fertilizantes y plaguicidas, son la principal causa de eutrofización.
- **Industriales:** todos aquellos residuos sólidos o líquidos generados por la industria de producción y transformación, entre ellos están los metales pesados, colorantes, ácidos, bases, etc.
- **Biológicos:** son todos aquellos patógenos u organismos ajenos a un sistema que pueden provocar enfermedades o cambios ecológicos; como ejemplo tenemos los patógenos de aguas residuales.

De forma más específica nos referimos a:

- **Metales pesados:** son elementos presentes de manera natural, pero cuya minería, uso y desecho han generado su presencia en concentraciones y formas químicas tales que actualmente representan un riesgo al socioambiente.
- **Microplásticos (probables partículas plásticas):** sólidos de alta persistencia en el medio provenientes de la incorrecta disposición de los residuos sólidos y del incremento del uso de micropartículas en productos de uso personal; por ejemplo, con graves consecuencias para el medioambiente.
- **Moléculas orgánicas:** aquí están presentes los agroquímicos, hidrocarburos y derivados, y compuestos orgánicos persistentes en general, son de difícil degradación y pueden estar afectando a un sistema por décadas.
- **Nutrientes:** son elementos necesarios para la vida, pero las actividades antropogénicas han incrementado su concentración en los ecosistemas a tal grado que rebasan la capacidad de éste para su aprovechamiento y generan eutrofización o lluvia ácida, por ejemplo.

## Efectos de la contaminación ambiental en la salud humana



**Figura 1-7.** Dramatización de síntomas por contaminación.

La exposición a la contaminación puede variar y, con ello, los efectos pueden ser diferentes. Si la exposición es por un tiempo corto y los efectos suelen ser inmediatos, la podemos identificar como exposición aguda (**Figura 1-7**). Por el contrario, si la exposición a los contaminantes es prolongada y los efectos se perciben pasado un tiempo considerable, hablamos de una exposición crónica (Sarafadeen *et al.*, 2017).

Los efectos de los distintos tipos de contaminación en la salud humana dependen del tipo y concentración del contaminante, además del periodo de exposición, y van desde infecciones gastrointestinales, oculares y erupciones en la piel, hasta afectaciones graves en órganos vitales, desarrollos cancerígenos, trastornos neurodegenerativos y problemas reproductivos (Yuan *et al.*, 2016; Cabral *et al.*, 2020).

## Alternativas para mitigar o evitar la contaminación ambiental

La contaminación ambiental es uno de los problemas más graves y persistentes en todo el mundo, por ello es necesario tomar conciencia y buscar alternativas para mitigar o evitar la contaminación en cualquier ambiente (Palacios *et al.*, 2022). El presente libro proporcionará en los siguientes capítulos alternativas originales y alcanzables para que la población lectora tenga una participación activa y realista en la prevención de la contaminación o en la mejora de la calidad del agua.

### Actividades de aprendizaje

1. Relaciona las columnas:

1. Agentes físicos de contaminación	A. Bacterias, virus, parásitos.
2. Agentes químicos de contaminación	B. Agua sucia, jabones, humo de vehículos.
3. Agentes biológicos de contaminación	C. Ruido, luces, pancartas, vibraciones.

1. \_\_\_\_ 2. \_\_\_\_ 3. \_\_\_\_



2. Explica qué es el equilibrio dinámico, la resistencia y resiliencia de un sistema.

---

---

3. Subraya la o las respuestas correctas:

I. ¿Cuál o cuáles son ejemplos de contaminación atmosférica?

- a. gases de la quema de basura
- b. gases de las industrias
- c. luces de la ciudad
- d. derrame de petróleo

II. ¿Cuál o cuáles son ejemplos de contaminación hídrica?

- a. derrame de petróleo
- b. gases de quema de basura
- c. jabón o restos de aceite
- d. luces de la ciudad

III. ¿Cuál o cuáles son ejemplos de contaminación lumínica y acústica?

- a. luces de la ciudad
- b. anuncios y pancartas en la calle
- c. música con volumen muy alto
- d. derrame de petróleo

IV. Menciona y explica al menos 3 tipos de contaminantes

- a.
- b.
- c.

V. ¿Cuál es la diferencia entre contaminación aguda y crónica?

Aguda:

Crónica:

VI. Identifica en tu casa al menos seis productos que consideras no esenciales y explica qué contaminantes pueden estar liberando cuando los tiras a la basura.

## Referencias

- Ahmadpour, P., Ahmadpour, F., Mahmud, T. M. M., Abdu, A., Soleimani, M. y Tayefeh, F. H. (2014). *PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METALS: A GREEN TECHNOLOGY* en Heavy Metal Contamination of Water and Soil Analysis, Assessment, and Remediation Strategies. Apple Academic Press New York. DOI: <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1201/b16566>
- Ballester, F. (2005). "Contaminación atmosférica, cambio climático y salud". *Revista Española de salud pública*, 79, 159-175. ISSN 2173-9110
- Cabral-Pinto, M. M. S., Inácio, M., Neves, M. A., Almeida, A., Pinto, E., Oliveiros, B., Da-Silva, E. F. (2020). Human Health Risk Assessment Due to Agricultural Activities and Crop Consumption in the Surroundings of an Industrial Area. *Exposure and Health* 12 (8). DOI: 10.1007/s12403-019-00323-x
- Castillo-Villanueva, L., Velázquez-Torres, D. (2015). *Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y resiliencia*. Quivera, vol. 17, núm. 2, pp. 11-32, 2015.
- Esquer, J., Romero, G., Ruiz, H. (2021). Ecología y medio ambiente. México: Editorial Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora. [https://cobachsonora.edu.mx/files/modulosaprendizaje2021/6to-sem\\_fb/2\\_ecologia\\_y\\_medio\\_ambiente\\_6to\\_fb\\_ed2021.pdf](https://cobachsonora.edu.mx/files/modulosaprendizaje2021/6to-sem_fb/2_ecologia_y_medio_ambiente_6to_fb_ed2021.pdf)
- García-Gil, M., Francia-Payàs, P., San Martí-Páramo, R., & Solano-Lamphar, H. (2012). *Contaminación lumínica: una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. ISBN 9788476539569
- García, A. (2014). *La contaminación acústica* (Vol. 6). Universitat de València. ISBN 8437094100
- Palacios, I. C., & Moreno, D. W. (2022). *Contaminación ambiental*. *RECIMUNDO*, 6(2), 93-103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Sarafadeen, O., Olanrewaju, A., Hung Y. T., Wang L. K. y Sung Wang M. H. (2017). *Toxicity, Sources, and Control of Copper (Cu), Zinc (Zn), Molybdenum (Mo), Silver (Ag), and Rare Earth Elements in the Environment en Remediation of heavy metals in the environment*. CRC Press. Boca Raton, Florida. ISBN 9781466510029
- Toledo, A. (2002). *El agua en México y el mundo*. *Gaceta ecológica*, (64), 9-18. ISSN: 1405-2849
- Yuan, W., Yang, N., Li, X. (2016). Advances in Understanding How Heavy Metal Pollution Triggers Gastric Cancer. *BioMed Research International*, 2016, 7825432 <https://doi.org/10.1155/2016/7825432>

Zúñiga, F. B. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados* (Vol. 1). UADY. ISBN 968-7556-82-X

## Glosario

- **Contaminación:** presencia de sustancias o agentes en el medioambiente que afectan negativamente al medio y/o la calidad de vida de los seres vivos.
- **Nocivos:** se refiere a aquellas sustancias o agentes que pueden causar daño o enfermedad a los seres vivos.
- **Equilibrio:** estado natural en el que se encuentra un ecosistema o sistema biológico en el que todos los componentes están en armonía y funcionando de manera equilibrada.
- **Dinamismo:** capacidad de un sistema para adaptarse y cambiar en respuesta a estímulos externos.
- **Actividades humanas:** acciones realizadas por los seres humanos que pueden contribuir a la contaminación del medioambiente, como la emisión de gases tóxicos, la producción de residuos, entre otras.
- **Fuentes puntuales:** entrada de contaminantes en el ambiente a través de un lugar específico y definido, como tuberías de drenaje.
- **Fuentes difusas:** resultado del transporte continuo de contaminantes por la lluvia, el aire o la actividad humana.
- **Eutrofización:** enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, que provoca la proliferación de algas y otros organismos, lo que puede tener efectos negativos en la calidad del agua.
- **Contaminación con metales pesados:** entrada de sustancias químicas tóxicas en el ambiente que pueden tener efectos perjudiciales en la salud humana y en la estructura de la comunidad de los sistemas acuáticos.
- **Microplásticos:** partículas sólidas muy pequeñas y persistentes en el medioambiente que pueden tener efectos negativos en la fauna acuática y la salud humana.

## Capítulo 2

# Los sistemas acuáticos de México



# Sistemas acuáticos de México

México es un país que cuenta con una gran diversidad de sistemas acuáticos, éstos proveen de servicios ecosistémicos a los organismos y de recursos a los seres humanos.



## Manantial

Emanación natural del agua subterránea a la superficie terrestre.



## Cenotes

Manto acuífero descubierto por el colapso de su techo.



## Subterráneos

Las aguas subterráneas son aquellas provenientes de lluvia o cuerpos de agua superficiales que infiltran la tierra y descienden hasta llegar a un terreno impermeable, donde se acumulan.



## Lagos

Los lagos son depósitos naturales de agua que se forman en cuencas o depresiones del terreno.

Estos cuerpos de agua son abastecidos por ríos o arroyos, por filtración de agua subterránea y/o precipitaciones.



## Ríos

Los ríos y arroyos son cuerpos de agua que presentan un movimiento constante unidireccional sobre la superficie terrestre.

Se pueden abastecer de agua por la precipitación, el escurrimiento superficial de agua, mantos freáticos y el deshielo de montañas.



## Lagunas

Las lagunas son depresiones de las zonas costeras abastecidos de agua salina por la conexión directa que tienen con el mar, pero que usualmente son separadas de éste por una barrera natural paralela a la costa.



## Océanos

México cuenta con acceso a los dos océanos más grandes del mundo: el océano Pacífico y el océano Atlántico.



## Pelágico

Ambiente compuesto por la columna de agua oceánica.



## Estuarios

Los estuarios son ecosistemas que se desarrollan en las desembocaduras de los ríos en el mar, donde se genera la mezcla de agua dulce y salobre.

De acuerdo con el nivel de salinidad del agua, se pueden desarrollar a su vez otros ecosistemas en la periferia:



## Manglares

Ecosistemas caracterizados por la presencia de árboles de mangle cuyas raíces filtran el agua y expulsan el exceso de sales.



## Marismas

Se desarrollan sobre las llanuras de inundación de los estuarios, protegen las costas de la erosión por la dinámica del océano. Pocas especies herbáceas toleran la salinidad del sistema.

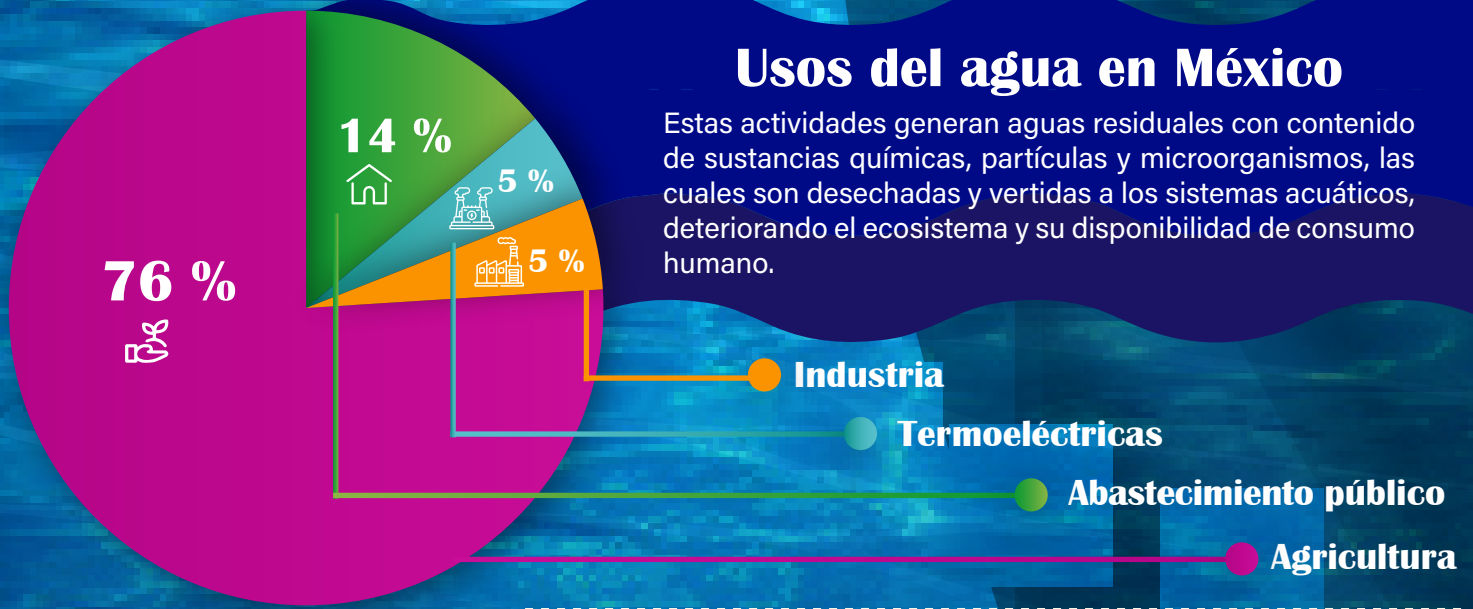


## Bentónico

Ambiente compuesto por el sedimento costero y fondo marino.

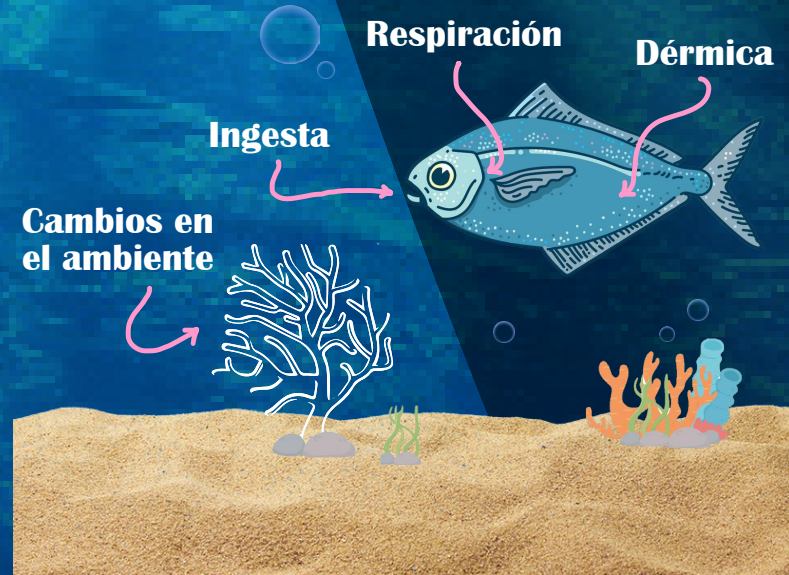
# Usos del agua en México

Estas actividades generan aguas residuales con contenido de sustancias químicas, partículas y microorganismos, las cuales son desechadas y vertidas a los sistemas acuáticos, deteriorando el ecosistema y su disponibilidad de consumo humano.



En México, hay diversas problemáticas en torno a la disponibilidad y calidad del agua. Entre ellas se encuentran:

- Alta demanda de agua, derivada del constante crecimiento poblacional
- Desigualdad de distribución del agua en tiempo y espacio
- Uso ineficiente del agua
- Sobreexplotación de mantos acuíferos
- Contaminación del agua por actividades antropogénicas
- Depósito de aguas residuales en cuerpos de agua



Los contaminantes pueden modificar las condiciones fisicoquímicas del ambiente y generar repercusiones en los organismos marinos, ya que pueden ingerirlos o adentrarse en sus cuerpos por vía dérmica o a través de sus branquias.



Debido a esta problemática la Organización Mundial de la Salud y la Comisión Nacional del Agua establecieron límites permisibles en indicadores que facilitan evaluar la calidad del agua y si ésta puede ser utilizada para consumo humano.

Sólidos disueltos

Nutrientes

Metales pesados

pH

Oxígeno disuelto

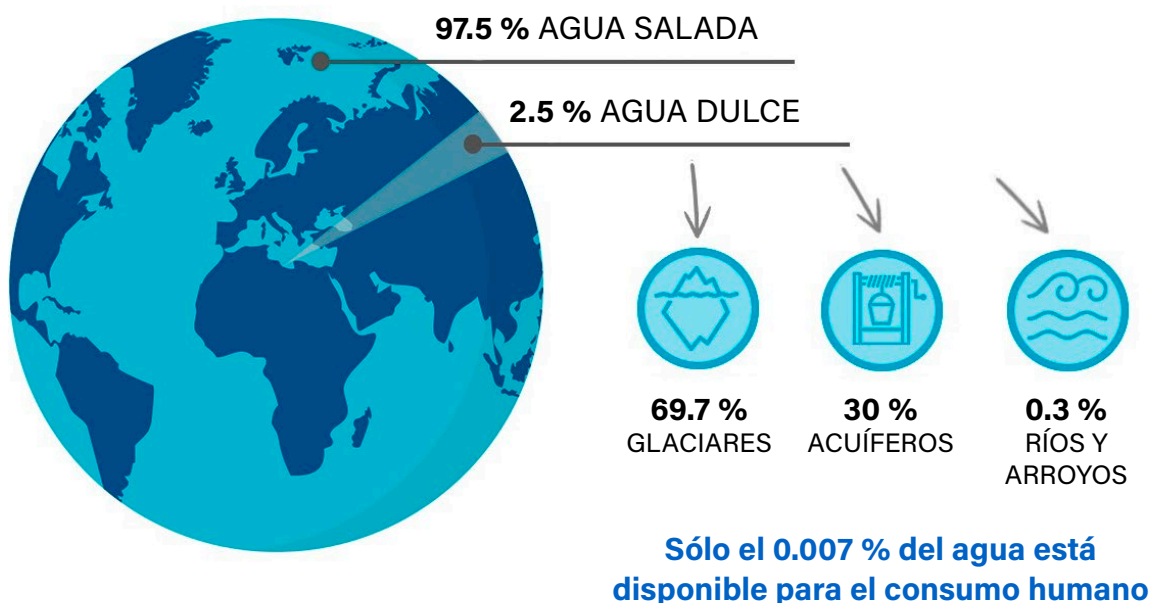
Conductividad

Patógenos

Compuestos orgánicos

## Distribución del agua en la tierra

De toda el agua que hay en el mundo, el 97.5 % es agua salada y el 2.5 % restante es agua dulce. El 69.7 % del agua dulce no está disponible para el uso y consumo humano, dado que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, y el 30 % es agua subterránea. Por lo tanto, sólo el 0.3 % se encuentra en ríos, lagos, humedales, suelo, aire, plantas y animales, esto se puede ver de manera gráfica en la **Figura 2-1** (CONAGUA, 2019).



**Figura 2-1.** Distribución mundial del agua. Fuente: *El Ágora diario del agua*, 2022.

Aparte del suministro de agua potable y saneamiento, la disponibilidad del agua dulce es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la producción de alimentos, la generación de energía y la conservación ambiental (CONAGUA, 2011).

La creciente población global ha producido una gran presión sobre las fuentes de abasto de agua, debido al aumento drástico de la extracción de agua dulce de ríos, lagos, acuíferos y embalses. A su vez, las actividades humanas han generado una mayor contaminación de los cuerpos de agua, disminuyendo aún más su disponibilidad (SEMARNAT, 2016).



## Sistemas acuáticos de México

México cuenta con diversos sistemas acuáticos (**Figura 2-2**), entre los que encontramos cuerpos de agua continentales como los cenotes, lagos y ríos, y de transición con el océanos como lo son manglares, marismas y estuarios; los cuales no sólo nos proveen de agua, sino también de recursos ambientales, alimentarios y de transporte.

**Figura 2-2.** *Sistemas acuáticos de México (elaboración propia, imágenes tomadas de Manzanas, 2019, Deutsche, s.f.; Portillo, 2020; Castelo, 2022; Ciesciaes, 2017 y Soto, 2022).*

## Océano

En México contamos con acceso a los dos océanos más grandes del mundo: el oeste del país se encuentra delimitado por el océano Pacífico, con regiones marinas como el Golfo de California y Tehuantepec, y al este, contamos con el Golfo de México y el Mar Caribe, pertenecientes al océano Atlántico (SEMARNAT, s. f.).

Las diferentes características del medio marino permiten dividirlo en dos grandes ambientes: bentónico y pelágico, en los cuales, los organismos (y los contaminantes también) se dispersan de acuerdo con las características ambientales.



**Figura 2-3.** *Medusas, organismos pelágicos (Saleté, 2018).*

### Ambientes pelágicos

Este ambiente está compuesto por toda la columna de agua del océano (**Figura 2-3**). Los contaminantes que acceden a este medio y cuya densidad sea menor a la del agua marina ( $1.025 \text{ g/cm}^3$ ) se mantendrán en suspensión, siendo desplazados por las corrientes marinas (CONABIO, 2021).

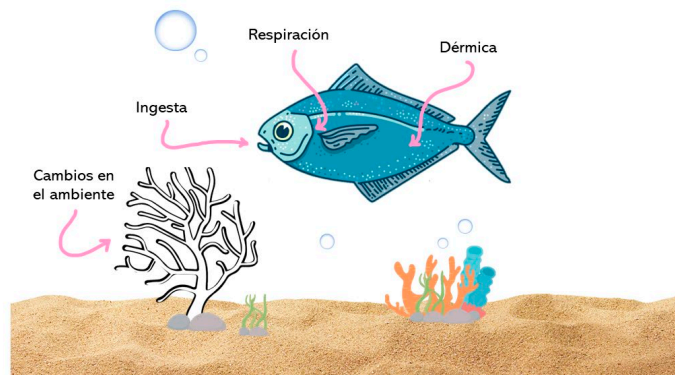




**Figura 2-4.** Corales, organismos bentónicos  
(Foto: Isaí Domínguez Guerrero).

## Ambientes bentónicos

Esta región corresponde al sustrato de la zona costera y del fondo marino (**Figura 2-4**). En las costas, los contaminantes se depositarán directamente sobre el sedimento. Por otra parte, aquellos que ingresen al ambiente pelágico se precipitarán y se depositarán en el fondo oceánico (SEMARNAT, s. f.).



**Figura 2-5.** Vías de ingreso de contaminantes en los organismos marinos (elaboración propia).

Los contaminantes pueden modificar las condiciones fisicoquímicas del agua o del sedimento y tener un impacto indirecto en los organismos marinos, ya que pueden ingerirlos o adentrarse en sus cuerpos a través de vía dérmica o de sus branquias (**Figura 2-5**).

## Epicontinentales

Los cuerpos de agua epicontinentales son aquellos que se ubican sobre la superficie de los continentes como los ríos, lagos y lagunas. Comúnmente, se les conoce como cuerpos de “agua dulce”, sin embargo, los cuerpos de agua epicontinentales también pueden presentar aguas salobres y saladas.

¿Cuándo pasa de ser “dulce” a “salada” el agua? Se ha aceptado, por convención, que el agua dulce es aquella con una concentración de sales menor a 3 g/L. La elección de esta cantidad se debe a que, a partir de dicha concentración, la mayoría de los humanos perciben el agua como salada.

Las aguas epicontinentales se pueden clasificar con base en el movimiento de sus aguas en lólicas (como los ríos y arroyos), que presentan un flujo constante, y lénticas (como los lagos y las presas), que están relativamente estancadas (Alcocer, 2007).



Figura 2-6. Lago de Chapala (Foto: Gil Garza).

## Lagos y lagunas

Los lagos son depósitos naturales de agua que se forman en cuencas o depresiones del terreno. Son abastecidos por ríos o arroyos, por filtración de agua subterránea y/o precipitaciones. Al río que nace de un lago se le denomina *efluente* (INEGI, s.f.).

El lago de Chapala en Jalisco (**Figura 2-6**) es el más grande de México con una extensión de 1,116 km<sup>2</sup>, seguido por el Lago de Cuitzeo de 306 km<sup>2</sup> (INEGI, s.f.).

Los lagos reciben continuamente sedimentos por medio de ríos, arroyos y escorrentía, que se depositan en el fondo y, con el tiempo, van rellenando el lago hasta que desaparece, dando lugar a un ecosistema terrestre (Löffler, 2004), tal y como se aprecia en la **Figura 2-7**.

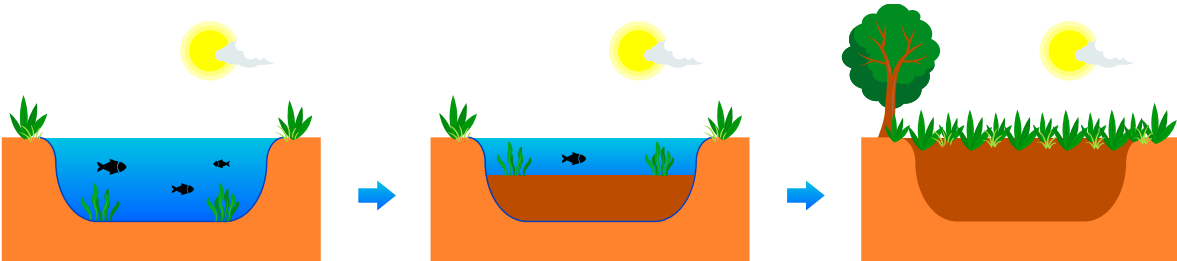


Figura 2-7. Sucesión de los lagos (elaboración propia).

Un mismo cuerpo de agua puede presentar porciones de agua con diferente densidad relacionada con la temperatura y/o salinidad. Esto da lugar a su estratificación, es decir, la división de la columna de agua en diferentes capas (**Figura 2-8**).



Figura 2-8. Estratificación de los lagos (elaboración propia).

La capa superior presenta la densidad menor y se le denomina *epilimnion*. La capa de en medio, la metalimnion, es la de transición y, con base al factor que determine la diferencia de densidades se le denomina también como *termoclina* (por temperatura) o *haloclina* (por salinidad). La capa inferior, el hipolimnion, presenta la mayor densidad. La estratificación está sujeta a las condiciones climáticas de la región donde se encuentra el lago y tiene una gran influencia en la diversidad de organismos que en ellos habitarán (Löffler, 2004).

En comparación con los lagos, las lagunas presentan una conexión con el océano y están separadas del mismo por una barrera (**Figura 2-9**). Estos cuerpos de agua se pueden clasificar en costeras y de atolón. Las primeras se encuentran separadas del océano por islas barrera (grupos de islas dispuestas de forma paralela a la costa) o bancos de arena. El agua puede ser dulce, salada o salobre, dependiendo qué tan aislada esté del océano. Las lagunas de atolón están rodeadas por arrecifes de corales, denominados atolón, y se forman por el hundimiento de una isla que estaba rodeada por arrecifes, este proceso toma varios millones de años (Geo Enciclopedia, s.f.).



**Figura 2-9.** Laguna de Términos, Campeche (modificada de NASA).

## Ríos y arroyos

Los ríos y arroyos presentan un movimiento constante unidireccional del agua sobre la superficie terrestre. Se abastecen de agua a través de la precipitación, el escurrimiento superficial de agua, mantos freáticos y el deshielo de montañas (CONABIO, 2022).

Pueden ser permanentes o intermitentes, el régimen climático influye en el volumen de agua que presentan los ríos en épocas de secas y de lluvia, siendo generalmente mayor en época de lluvias. Varios ríos presentan una disminución en su volumen de agua debido a obras de retención de agua y su extracción para el riego (FCEA, s.f.).

## Subterráneas

Las aguas subterráneas son aquellas que se almacenan en el subsuelo debido a la infiltración del agua superficial, formando un depósito subterráneo de agua conocido como *acuífero*. El agua se "recarga" constantemente de manera natural, por la infiltración de agua de lluvia, y de otros cuerpos de agua superficiales y fluye permanentemente en el subsuelo y, eventualmente, sale a la superficie de manera natural, formando manantiales (Árcega-Cabrera *et al.*, 2014, 2021).

Los manantiales se pueden clasificar en perennes, intermitentes o artesianos. Los primeros presentan un flujo de agua constante, los segundos sólo se presentarán cuando el nivel del agua subterránea sea lo suficientemente elevado para fluir a la superficie y, los terceros se refieren a los pozos construidos por el hombre (IMTA, 2019).

A las formaciones geológicas subterráneas que están conectadas entre sí por esta agua fluvente, se les denomina *acuíferos*. En México, se han definido 653 acuíferos y el 38.7 % del agua que se utiliza proviene de éstos (IMTA, 2019). Cuando el manto acuífero queda descubierto por el colapso de su techo, da lugar a un cenote (**Figura 2-10**). Éstos se forman principalmente en zonas de roca caliza (zonas kársticas), debido a que es una roca que se disuelve fácilmente con el agua de lluvia. Los cenotes pueden presentar agua dulce o salobre, por la infiltración del agua de mar que puede llegar hasta ellos (Beddows *et al.*, 2007).



**Figura 2-10.** Cenote Ik Kil, en Yucatán (Foto: Irving Huertas).

## Ecotonos

Los ecotonos o ambientes de transición son zonas en los que se conectan e interactúan el medio terrestre y el acuático. Podemos identificar este tipo de ambientes debido a que encontramos un aporte fluvial continental y una entrada oceánica hacia el continente, en éstos se dará una mezcla entre las aguas dulces y salobres, otorgando características fisicoquímicas únicas para el desarrollo de singular flora y fauna. El ecotono principal presente en México es el de los estuarios, ya que es el ambiente de transición fundamental y a partir del cual se presentan otros ecotonos como las marismas y los manglares (Gobierno de España, s.f.).



**Figura 2-11.** Estuario del Estado de Guerrero (Arrechea, 2018).

## Estuarios

Los estuarios (**Figura 2-11**) son ambientes que podemos encontrar en las desembocaduras de los ríos en el mar, donde se genera una mezcla de agua dulce proveniente del continente con el ingreso de agua salobre del mar (NOAA, s.f.). Esta combinación brinda una variedad de ambientes que se desarrollan a su alrededor, conforme la geomorfología y características fisicoquímicas del agua, por lo que podemos encontrar asociados a los estuarios los ambientes de marismas y manglares (NOAA, s.f.). Cada estuario posee características físicas únicas que influyen en su ecología, entre las que se encuentran: a) la cantidad de descarga del río, b) la profundidad y la topografía general, c) patrones de circulación, d) régimen climático y e) rango de marea (Lalli & Parsons, 1997).

Algunos de los servicios ecosistémicos que brinda este ambiente son el suministro de alimento y sitio para la reproducción, desove y anidamiento de diversos organismos, recarga de los acuíferos y la producción de la materia orgánica necesaria para los ambientes marinos.

## Marismas

Las marismas son sistemas acuáticos que se desarrollan sobre las llanuras de inundación en la desembocadura del río hacia el mar y marcan la transición entre la región acuática y la continental (SEMARNAT, s.f.) (**Figura 2-12**). Este hábitat tiene grandes variaciones en salinidad y temperatura, pocas especies de plantas y animales se establecen en este ecosistema de forma permanente (Lalli & Parsons, 1997).



**Figura 2-12.** Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (Ramírez-Zavala et al., 2004).

Estos ecosistemas protegen a las costas de la erosión al atenuar la acción de las olas y retener los sedimentos; además reducen las inundaciones al ralentizar y absorber el agua de lluvia, protegen la calidad del agua al filtrar las escorrentías continentales y al metabolizar el exceso de nutrientes (NOAA, s.f.).

En México se encuentra la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (RBMNN) con una extensión de 133 mil hectáreas sobre las planicies costeras del Pacífico Mexicano, en los estados de Nayarit y Sinaloa (Ramírez-Zavala et al., 2004).

## Manglares

Los manglares son sistemas acuáticos que se desarrollan en las periferias de los estuarios y lagunas costeras, debido a que el mangle, especie arbórea que lo caracteriza, depende de la fluctuación de la salinidad, la temperatura y el rango de mareas presentes en estas zonas (CONABIO, 2012). Los mangles pueden fijarse al sustrato por debajo de la columna de agua con sus raíces aéreas, las cuales, además, presentan neumatóforos, estructuras que filtran la sal del agua (SEMARNAT, s.f.).

En México, predominan cuatro especies de mangle (**Figura 2-13**): el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) (SEMARNAT, s.f.); además, se han registrado la presencia de las especies *Rizophora harrisoni* y *Avicennia bicolor* exclusivamente en Chiapas.



**Figura 2-13.** Mangle rojo (*Rhizophora mangle*) (Foto: Henry Sánchez Vega).

Este ecosistema proporciona importantes servicios ambientales, como la protección de erosión costera e inundaciones; regulación de la calidad del agua y captación de carbono; refugio y hábitat para organismos acuáticos y terrestres; además de ser ecosistemas altamente productivos, ya que generan una gran cantidad de nutrientes que son exportados por las mareas a las aguas marinas cercanas a la costa (NOAA, s.f.).

## Calidad y problemática del agua en México

En México, el 76 % del agua se utiliza en la agricultura; el 14 %, en el abastecimiento público; el 5 %, en las termoeléctricas, y el 5 % restante en la industria (CONAGUA, 2018). Estas actividades producen *aguas residuales* (**Figura 2-14**), con sustancias químicas, partículas o microorganismos, que son desechadas en cuerpos de agua, contaminándolos (Gobierno de México, s.f.). La contaminación de los cuerpos de agua deteriora la calidad de la misma, lo cual afecta a diversas especies de microorganismos, plantas y animales, y limita la disponibilidad de agua para uso y consumo humano (Gobierno de México, s.f.).

En México hay diversas problemáticas en torno a la disponibilidad y calidad del agua. Entre ellos se encuentran:

- Alta demanda de agua, derivada del constante crecimiento poblacional.
- Desigualdad de distribución del agua en tiempo y espacio.
- Uso ineficiente del agua.
- Sobreexplotación de mantos acuíferos.
- Contaminación del agua por actividades antropogénicas.
- Depósito de aguas residuales en cuerpos de agua.

Debido a la problemática con la calidad del agua, la Organización Mundial de la Salud estableció una serie de indicadores mínimos que permiten evaluarla y determinar si es apta para consumo humano (OMS, 2022). Por otro lado, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 también establece límites permisibles de algunos parámetros para el agua de uso y consumo humano que deben ser cumplidos en todo el territorio nacional (NOAA, s.f.). Entre estos parámetros se encuentran: conductividad, total de sólidos disueltos, pH y oxígeno disuelto, concentración de nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos y presencia de patógenos.

En nuestro país, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011) es la dependencia oficial encargada de monitorear la calidad del agua superficial y subterránea a través de la Red Nacional de Monitoreo.

En resumen, es necesario conocer la diversidad de sistemas acuáticos y todos los factores antropogénicos que generan contaminación en ellos, de manera que, a través de pequeñas acciones individuales, se logre disminuir este impacto en la mayor medida de lo posible.



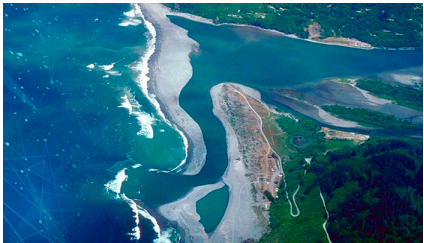





**Figura 2-14.** *Aguas residuales.*

## Actividades de aprendizaje

1. Subraya la o las respuestas correctas.
  - I. El mayor porcentaje de agua dulce se encuentra en...
    - a. Acuíferos (aguas subterráneas)
    - b. Glaciares
    - c. Lagos y ríos
  
  - II. Son depósitos naturales de agua que se forman en cuencas o depresiones del terreno:
    - a. Ríos
    - b. Acuíferos
    - c. Lagos
  
  - III. Cuando el manto acuífero queda descubierto por el colapso de su techo se forma un...
    - a. Cenote
    - b. Manantial
    - c. Pozo
  
  - IV. Los estuarios son un ambiente de...
    - a. Mezcla del agua oceánica y de los ríos
    - b. Transferencia de sales del mar al río
    - c. Adaptación de los organismos dulceacuícolas
  
  - V. Las marismas se desarrollan en:
    - a. Las lagunas costeras
    - b. Las llanuras de inundación de la desembocadura de los ríos
    - c. Las planicies abisales
  
  - VI. Los manglares se ven afectados por:
    - a. La migración de organismos
    - b. Los desechos sólidos urbanos, contaminantes industriales y fertilizantes agrícolas
    - c. El efecto de los tsunamis

2. Relaciona las imágenes con el nombre del sistema acuático al que corresponde

1		<input type="checkbox"/> Manglar
2		<input type="checkbox"/> Oceánico
3		<input type="checkbox"/> Laguna
4		<input type="checkbox"/> Cenote
5		<input type="checkbox"/> Río
6		<input type="checkbox"/> Estuario



3. A continuación se muestran varias afirmaciones, marca con una x en V si consideras que la afirmación es verdadera o una x en F si consideras que es falsa.

I. Las costas mexicanas tienen acceso a los océanos Atlántico y Pacífico

( ) F ( ) V

II. El ambiente oceánico pelágico está constituido por los organismos que se encuentran en el mar

( ) F ( ) V

III. El ambiente oceánico bentónico se encuentra compuesto por el sedimento depositado en las costas y el fondo marino

( ) F ( ) V

IV. Los cuerpos de agua epicontinentales siempre presentan agua dulce

( ) F ( ) V

V. Los ríos y arroyos se caracterizan por presentar un movimiento unidireccional constante del agua

( ) F ( ) V

VI. La barrera de las lagunas no permite el intercambio de agua con el océano

( ) F ( ) V

## Referencias

Alcocer, J. (2007). *El agua epicontinental de México*. *Ciencia* (julio-septiembre), pp. 27-35.

Árcega-Cabrera, F., Velázquez-Tavera, N., Fargher, L., Derrien, M., & Noreña-Barroso, E. (2014). *Fecal sterols, seasonal variability, and probable sources along the ring of cenotes, Yucatan, Mexico*. *Journal of Contaminant Hydrology*, 168, 41-49. doi:10.1016/j.jconhyd.2014.08.007

Árcega-Cabrera, F., Sickman, J.O., Fargher, L., Herrera-Silveira, Lucero D., Ocegüera-Vargas, I., Lamas-Cosío, E. & Robledo-Ardila, P.A. (2021) *Groundwater Quality in the Yucatan Peninsula: Insights from Stable Isotope and Metals Analysis*. *Groundwater* 1-14.  
<https://doi.org/10.1111/gwat.13109>

Arrechea, G. (2018). *Estuarios: modelos sostenibles de vida acuática*.  
<https://www.mypress.mx/negocios/estuarios-modelos-sostenibles-vida-acuatica-2504>

Beddows, P., Blanchon, P., Escobar, E. y Torres-Talamante, O. (2007). *Los cenotes de la Península de Yucatán*. *Arqueología Mexicana*, 14(83): 32-35.

Castelo, S. (2022). *Ecosistemas manglares. ¡Cuidemos de la naturaleza!* <https://revistacitylife.com/vida/ecosistemas-manglares-cuidemos-de-la-naturaleza/>

Ciencias (2017). *Estuarios, puertas al mar*.  
<https://ciencias.com/entrevistas/2017/10/21/puertas-al-mar/>

CONABIO, Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2021). *Ambiente pelágico*. Biodiversidad mexicana.  
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex/ambiente-pelagico>

CONABIO (2012). *Manglares*. Biodiversidad mexicana.  
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>

CONABIO (2022). *Ríos y lagos*. Biodiversidad mexicana.  
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex/rios-y-lagos>

CONAGUA (2011). *Estadísticas del Agua en México*. (11a ed.). SEMARNAT.

CONAGUA (2018). *Estadísticas del agua en México*.  
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2018.pdf>

CONAGUA (2019). *Distribución global del agua en el mundo (mundial)*. SINA CONAGUA.

<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=distribucionAgua>

Deutsche Welle (s.f.). *Los lagos pierden más rápido oxígeno que los océanos*. <https://www.dw.com/es/los-n%C3%ADveles-de-ox%C3%ADgeno-en-los-lagos-se-reducen-m%C3%A1s-r%C3%A1pido-que-en-los-oc%C3%A9anos/a-57763178>

<https://www.dw.com/es/los-n%C3%ADveles-de-ox%C3%ADgeno-en-los-lagos-se-reducen-m%C3%A1s-r%C3%A1pido-que-en-los-oc%C3%A9anos/a-57763178>

El Ágora diario del agua (2022). *Cuánta agua hay en el planeta*. [https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/?utm\\_source=twitter&utm\\_medium=social](https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/?utm_source=twitter&utm_medium=social)

[https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/?utm\\_source=twitter&utm\\_medium=social](https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/?utm_source=twitter&utm_medium=social)

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (s. f.). *Ríos de México*. Agua en México.

[https://agua.org.mx/seccion\\_ninos/rios-de-mexico/](https://agua.org.mx/seccion_ninos/rios-de-mexico/)

Geo Enciclopedia (s. f.). *Lagunas*. *La Tierra*. <https://www.geoenciclopedia.com/lagunas/>

<https://www.geoenciclopedia.com/lagunas/>

Gobierno de España (s.f.). *Asociación ECOTONO*.

<https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/quien-es-quien/ecotono.aspx>

Gobierno de México (s.f.) *Agua: Informe del medioambiente*.

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html#tema2>

IMTA (2019). *Aguas subterráneas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Blog.

<https://www.gob.mx/imta/articulos/aguas-subterranas>

INEGI (s.f.). *Ríos y lagos*. Cuéntame de México.

<https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/rios.aspx?tema=T>

Lalli, C. & Parsons, T. (1997, 16 mayo). *Biological Oceanography: An Introduction* (2<sup>nd</sup> ed.).

Butterworth-Heinemann.

Löffler, H. (2004). *The origin of lake basins*. En P.E. Sullivan y C.S. Reynolds (Eds.) *The lakes*

*handbook* (pp. 8-61). Blackwell Publishing.

Manzanas, J. (2019). *Qué es el océano mundial y cómo se divide*.

<https://okdiario.com/curiosidades/que-oceano-mundial-como-divide-4375112>

NOAA (s.f.). *Life in an estuary*.

<https://www.noaa.gov/education/resource-collections/marine-life/life-in-estuary>

NOAA (s.f.). *Estuaries Tutorial*.

[https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial\\_estuaries/est06\\_habitats.html](https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_estuaries/est06_habitats.html)

NOAA (s.f.). *What is a salt marsh?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/saltmarsh.html>

NOAA (s.f.). *What is an estuary?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/estuary.html>

NOAA (s.f.). *What is a mangrove forest?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/mangroves.html>

OMS (2022). *Guidelines for drinking-water quality* (4<sup>a</sup> ed.). OMS

Portillo, G. (2020). *Marismas. Renovables Verdes*. <https://www.renovablesverdes.com/marismas/>

Ramírez-Zavala, J.R., Cervantes-Escobar, A. & Ramírez-Zavala, J.R. (2004). *El ambiente biofísico de Marismas Nacionales, Sinaloa y criterios básicos para la gestión de su integridad ecológica*. Universidad Autónoma de Sinaloa / Pronatura Noroeste AC. [https://www.researchgate.net/publication/281378385\\_El\\_ambiente\\_biofisico\\_de\\_Marismas\\_Nacionales\\_Sinaloa\\_y\\_criterios\\_basicos\\_para\\_la\\_gestion\\_de\\_su\\_integridad\\_ecologica](https://www.researchgate.net/publication/281378385_El_ambiente_biofisico_de_Marismas_Nacionales_Sinaloa_y_criterios_basicos_para_la_gestion_de_su_integridad_ecologica)

Salete, E. (2018). *Animales marinos venenosos*. *México ambiental*. <https://www.mexicoambiental.com/animales-marinos-venenosos/>

SEMARNAT (s.f.). *Los manglares mexicanos*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/manglares-mexicanos>

SEMARNAT (s. f.). *Océanos y mares de México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/oceanos-y-mares-de-mexico>

SEMARNAT (2016). *Informe de la Situación del Medioambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. (Edición 2015).

Soto, P. (2022). *Cenotes de Riviera Maya*. <https://oasishoteles.com/blog/cenotes-de-riviera-maya/>

# Capítulo 3

## Contaminación acuática por metales pesados



# Metales pesados

## ¿Qué son?

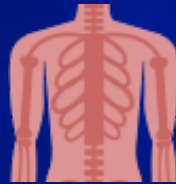
Elementos metálicos naturales de densidad generalmente mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>.



Es por eso que se dicen "pesados", ya que su densidad es mayor a la del agua.

## Metales en nuestra vida

- ✓ Fe y Cu: Permiten el transporte de O<sub>2</sub> a la sangre.
- ✓ Zn, Cu, Fe, Se, Co, Mo: Forman parte de enzimas importantes.



Se encuentran en lo que usamos, bebemos y comemos diariamente:



Los metales pesados representan una fuerte amenaza para los sistemas acuáticos, y por ende, para la salud pública debido a su elevada persistencia y toxicidad, aún a niveles traza, poniendo en riesgo a más de 140 millones de personas en el mundo.

## Fuentes naturales

Desde la corteza terrestre



Erupciones volcánicas



## ¿Cómo llegan al agua?

### Fuentes antropogénicas



Combustión y desechos



Minería

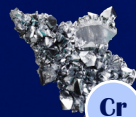
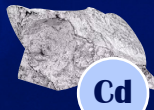
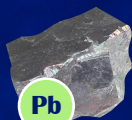


Baterías



Agroindustria

que liberan al agua principalmente...



Cada metal sigue su propia ruta de transferencia y transformación a través de la litosfera e hidrosfera, para posteriormente ingresar a la biosfera (seres vivos).

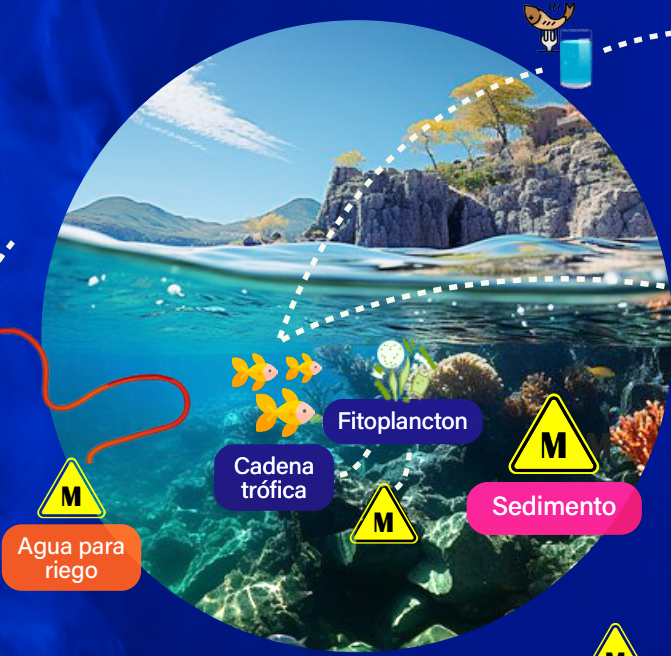
# ¿Cómo llegan a nosotros y cuál es su impacto?

## Toxicidad

- Afecta a nivel:
- fisiológico
  - celular
  - de conducta



Alimentos venenosos



Agua para riego

Cadena trófica

Fitoplancton

Sedimento

**M** = Metal pesado

- Cáncer
- Daños neurodegenerativos: Alzheimer, Parkinson
- Daños a órganos:

- Daño oxidativo
- Disrupción endocrina
- Depresión del sistema inmune
- Conducta: nado errático, respiración fuera del agua, reducción de la motilidad.

# ¿Qué se puede hacer para reducir su impacto?

Aunque es imposible evitar los metales pesados completamente, hay maneras de reducir la exposición.



Técnicas para eliminar los metales pesados del agua

Acciones para prevenir a nuestro organismo de los efectos tóxicos



**¡Tú puedes ayudar a mitigarlos!**

\*Si se construyó antes de 1986

- Usa baterías recargables (preferentemente de iones de litio, o hidruro metálico de níquel). Deséchalas en un centro de reciclado (e.g. tiendas de aparatos electrónicos).

- Evita usar termómetros de mercurio
- Usa focos LED, ya que no contienen mercurio



# Los metales pesados

Los metales son elementos químicos que se caracterizan por tener buenas propiedades conductoras de calor y electricidad, suelen ser opacos o de brillo metálico, son sólidos a temperatura ambiente a excepción del mercurio (Hg) (Figura 3-1), son dúctiles y maleables (Almada-Ruiz y Trujillo, 2016; Chang y College, 2002).



Figura 3-1. Mercurio (Hg), líquido a temperatura ambiente.

La mayoría de los metales son más densos que el agua, excepto el litio (Li), el sodio (Na) y el potasio (K). Sus átomos contienen 1, 2 o 3 electrones de valencia que al combinarse pierden electrones, convirtiéndose en iones positivos (Almada-Ruiz y Trujillo, 2016; Chang y College, 2002).

Los elementos metálicos se encuentran distribuidos en la zona central, izquierda y en la franja diagonal derecha que separa a los no metales de los metales en la tabla periódica (Figura 3-2) (Gallego-Picó *et al.*, 2013).

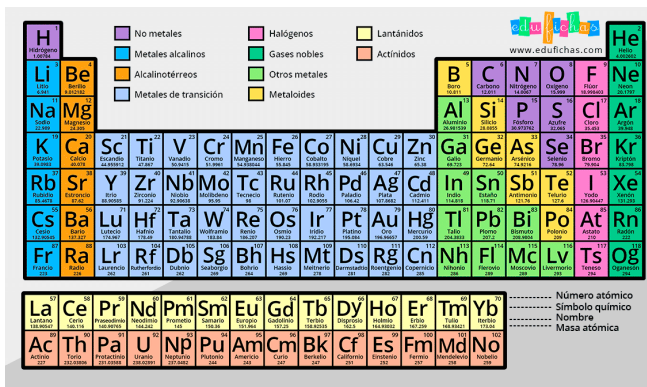


Figura 3-2. Tabla periódica de los elementos químicos

Se clasifican en dos categorías: esenciales y no esenciales. Los metales esenciales son aquellos que son necesarios para realizar actividades metabólicas vitales en los organismos, aunque pueden ser tóxicos a determinadas concentraciones. Los no esenciales no tienen ninguna función biológica conocida y tienen efectos tóxicos incluso a baja concentración (Soto-Jiménez, 2011).

Contrario a lo que la mayoría de las personas se imaginan, metales como el zinc (Zn), hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co), magnesio (Mg) y zinc (Zn) son fundamentales para catalizar reacciones metabólicas vitales en nuestro cuerpo, además de estar presentes en objetos y materiales que usamos en nuestro día a día (Figura 3-3), ya sea por sus propiedades o como impurezas del proceso de fabricación, como la joyería, ollas, sartenes, tuberías, baterías, cables, etc. (Quintanar, 2018; Conti, 2007). En la **Tabla 3-1** se observan los usos de los metales más relevantes por su toxicidad.



Figura 3-3. Forma en el que cobre se encuentra en nuestro alrededor (Quintanar, 2018).



**Tabla 3-1.** Usos comunes de los metales más relevantes (Zamora-Ledezma et al., 2021; Yahaya y Don, 2014; Cleveland Clinic, 2022).

Tipo de metal	Dónde se encuentra
Plomo	Baterías, pigmentos para pinturas y barnices, industria automotriz, galvanización.
Mercurio	Termómetros, bombillas, amalgamas dentales, industria metalúrgica y electrónica. Así como en el pescado.
Arsénico	Insecticidas, plaguicidas, aleaciones, cigarrillos, antes se utilizaba en algunos medicamentos.
Cadmio	Baterías recargables de Ni-Cd, productos derivados del petróleo, galvanización.

## Contaminación por metales pesados

Generalmente se denominan *metales pesados* a aquellos metales y metaloides que son tóxicos para el medioambiente y la salud humana, y cuyas densidades son más altas que la del agua (generalmente mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>), por lo tanto, se hunden en estado sólido (Duruibe et al., 2007).

Sin embargo, este término es engañoso ya que, si bien todos los metales incluidos en esta categoría son tóxicos, no todos son metales y no todos son "pesados" (Árcega-Cabrera y Fargher, 2016; Ong et al., 2017), pero el término "metales pesados" es el más común.

Desde hace más de diez años se han clasificado alrededor de 53 elementos como metales pesados tóxicos en el ambiente, entre los que destacan arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) (Figura 3-4) (Sarma, 2011; Chen et al., 2016; Tóth et al., 2016).



**Plomo**



**Cromo**



**Mercurio**



**Arsénico**



**Cadmio**

**Figura 3-4.** Ejemplos de algunos metales pesados (elaboración propia).



**Figura 3-5.** Unión de un río limpio con uno contaminado que baja desde un proyecto minero del Perú (Orihuela, 2021).

La contaminación por metales pesados ha sido una de las amenazas más grandes para los recursos acuáticos, el suelo y la salud humana, arriesgando a más de 140 millones de personas en el mundo. En la **Figura 3-5** se muestra la contaminación por metales pesados en ríos (Yoon *et al.*, 2006; Bolisetty *et al.*, 2019).

Los metales pesados se encuentran entre los contaminantes más liberados a los sistemas acuáticos, afectando aproximadamente al 40 % de los ríos y lagos del planeta (Zhou *et al.*, 2020). A diferencia de la materia orgánica, éstos son contaminantes persistentes ya que no pueden ser degradados por microorganismos, lo que puede generar que se bioacumulen y biomagnifiquen a través de la cadena trófica (Ahmadpour *et al.*, 2014; Azimi *et al.*, 2017).

## Fuentes de metales pesados

Las fuentes naturales de metales pesados son la actividad volcánica, las rocas que contienen metales y deposición ambiental; sin embargo, éstas no representan una fuente de contaminación, contrario a las de origen antropogénico, como son la agroindustria, la combustión procedente de plantas industriales, el transporte carretero, plantas de tratamiento, industrias como la textil y la automotriz, sobre todo, las descargas de aguas residuales de minas (Kubrak *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2019; Galiak *et al.*, 2020; Zamora-Ledezma *et al.*, 2021). Los metales pesados pueden afectar al medioambiente de diferentes maneras, como se muestra en la **Figura 3-6**.



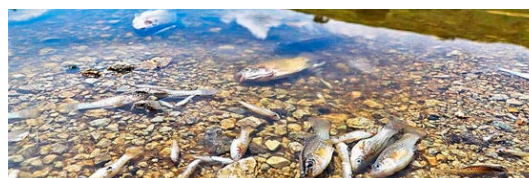
**Figura 3-6.** Causas y consecuencias de la contaminación por metales pesados (Aconsa, 2021).

Estos elementos tóxicos llegan a los seres humanos, principalmente, a través del consumo de agua contaminada y de alimentos como pescado, carne, frutas y hortalizas que han sido contaminados con As, Cd, Hg y Pb, entre otros (Singh *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2014; EFSA, 2015; Li *et al.*, 2015; Árcega-Cabrera y Fargher, 2016; Árcega-Cabrera *et al.*, 2017 y 2018).

Actualmente, se considera que la toxicidad de los metales y metaloides está en función de la forma química en la que se encuentren y no en la concentración total de los mismos, por ejemplo, el metilmercurio es el mercurio transformado por las bacterias con capacidad para penetrar membranas celulares (Carusso *et al.*, 2003; Hirose, 2006).

## Efectos tóxicos de los metales pesados

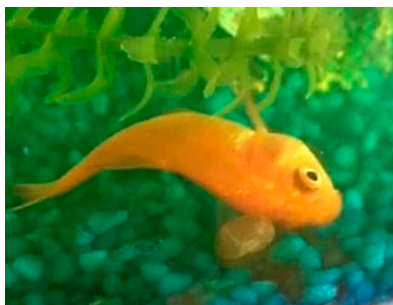
Cuando un metal pesado se introduce al cuerpo puede causar cambios y daños fisiológicos, celulares y de comportamiento, no sólo al ser humano, sino también a otros organismos acuáticos y terrestres (**Figura 3-7**) (Amuda *et al.*, 2017).



**Figura 3-7.** Consecuencias de la contaminación acuática (García, 2020).

### En la fauna acuática

En los sistemas acuáticos, los metales pesados provocan desequilibrios químicos, físicos y biológicos que resultan en cambios en la diversidad, densidad y composición de las poblaciones de



**Figura 3-8.** Ejemplo de nado errático de un pez.

especies, ello afecta al fitoplancton, zooplancton, peces, etc., debido a que acumulan metales en varios de sus órganos, causando daño oxidativo, alteración endocrina y depresión del sistema inmunitario (Árcega-Cabrera *et al.*, 2015; Pratush *et al.*, 2018; Ullah *et al.*, 2017; Guerra *et al.*, 2012; Le *et al.*, 2019). Los efectos sobre la conducta en peces se relacionan con comportamientos anormales como respirar fuera del agua, reducción en la motilidad y nado errático, como se muestra en la **Figura 3-8** (Soto-Jiménez, 2011).

### En el ser humano

En el caso de los humanos, la toxicidad por metales pesados puede conducir a varios problemas de salud (cáncer, trastornos musculares), daños en órganos como hígado, estómago, esófago, riñones, pulmones y piel (**Figura 3-9**), y desórdenes neurodegenerativos como Alzheimer o Parkinson, incluso a bajas concentraciones (Jaishankar *et al.*, 2014).



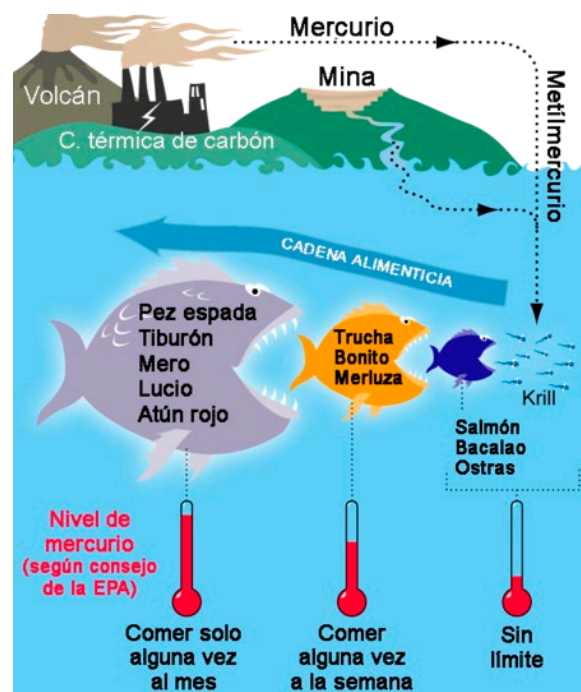
**Figura 3-9.** Manifestación de arsenicismo en persona afectada en Bangladesh (Valerio, 2016).

¿Cómo podemos mitigar sus efectos nocivos? Aunque es imposible evitar la exposición a los metales pesados por completo, hay maneras de reducirla a través de la aplicación de estrategias y acciones que permiten disminuir los riesgos de toxicidad como: evitar su introducción al medioambiente y, cuando sea posible, removerlos del agua por medio de técnicas complejas.

## Acciones de prevención

Toma en cuenta que los metales pesados pueden entrar en nuestro cuerpo por absorción en la piel y por ingesta de alimentos y agua contaminados. A continuación, se describen algunas acciones que puedes llevar a cabo para evitar su exposición:

- Seguir una dieta balanceada. Esto es porque algunos metales pesados tienen la capacidad de inhibir o imitar la acción de elementos esenciales como el calcio, zinc y compuestos como enzimas, aminoácidos, entre otros (Soto-Jiménez, 2011), por lo que una dieta balanceada reducirá las deficiencias y efectos tóxicos.
- Consumir alimentos con alto contenido de clorofila, ya que es un quelante natural, es decir, "secuestra" los metales.
- Utilizar y beber agua filtrada o embotellada (Árcega-Cabrera y Fargher, 2016).
- Modificar el consumo de pescado, pues actualmente está contaminado con mercurio, la **Figura 3-10** muestra una manera de consumo que permite además reducir los impactos de la pesca insostenible.
- Lavar las manos antes de consumir alimentos.
- Leer la etiqueta de ingredientes de los productos que adquirimos para verificar que no contengan metales (Cleveland Clinic, 2022).
- Verificar el estado de las tuberías del hogar, cambiar constantemente los filtros y no dejar correr agua caliente a través de ellas previo a la preparación de alimentos y bebidas (EPA, 2022).



**Figura 3-10.** Cantidad y tipo de pescado que se puede consumir según la EPA.

Aunque muchas fuentes de aporte de estos contaminantes no están bajo nuestro control como consumidores, aun así, podemos contribuir en su mitigación mediante acciones sencillas descritas a continuación:

- Usar baterías recargables, de preferencia de iones de litio o hidruro metálico de níquel (evitar las de níquel-cadmio) y, en su momento, desecharlas en un centro de reciclado (e.g. tiendas de aparatos electrónicos) (SEMARNAT, s.f.).
- Evitar el uso de termómetro de mercurio. En caso de contar con uno, llevarlo a una empresa de reciclaje autorizada. Si se llega a romper, evite el contacto lo más posible, limpie el área con guantes y deseche los residuos por separado.
- Usar focos LED ya que no contienen mercurio como los focos convencionales.

La buena noticia es que actualmente algunas industrias ya cuentan con su propia planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Algunas aplican métodos específicos para remover los metales pesados, algunos de estos métodos son los siguientes:

- **Métodos fisicoquímicos:** filtración, precipitación química, electrodiálisis, adsorción con nanopartículas (de carbono, metal u óxido de metal), fotocatalisis, etc. (Koller y Saleh, 2018).
- **Métodos biológicos:** fitorremediación, la cual se basa en la capacidad de algunas plantas para absorber y aprovechar los metales pesados de manera eficiente y ecológica (Ali *et al.*, 2013).

## Actividades de aprendizaje

1. Selecciona la respuesta correcta.

- I. ¿Cuál o cuáles son las características de un metal?
  - a. son maleables
  - b. al combinar sus átomos ganan electrones
  - c. son buenos conductores de electricidad
  - d. al combinarse con oxígeno forma óxidos básicos
  
- II. ¿Cuál de los siguientes metales son esenciales?
  - a. As y Pb
  - b. Cu y Fe
  - c. Co y Hg
  - d. Zn y Cd
  
- III. ¿Cuál de los siguientes metales son NO esenciales?
  - a. As y Pb
  - b. Cu y Fe
  - c. Co y Hg
  - d. Zn y Cd
  
- IV. ¿Cuál o cuáles son las fuentes de contaminación de metales pesados?
  - a. El aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos
  - b. El turismo
  - c. Aguas residuales de industrias mineras
  - d. La actividad volcánica
  
- V. ¿Qué efectos nocivos provoca la contaminación ambiental por metales pesados?
  - a. Alergias al polen
  - b. Trastornos neurodegenerativos
  - c. Eutrofización
  - d. Desecación de sistemas acuáticos

5. Escribe delante de los siguientes enunciados una V si la información es verdadera o una F si es falsa, según consideres.

1. Todos los metales pesados son tóxicos.	
2. Todos los metales pesados tienen un peso molecular, densidad y número atómico grandes.	
3. La contaminación por metales pesados NO afecta la calidad del agua.	
4. La toxicidad de los metales pesados depende de la forma química en la que se encuentren en el medio.	
5. Los metales son esenciales para la actividad metabólica de los seres humanos.	

## Referencias

- Aconsa (2021). *Metales pesados en el agua potable: ¿deben preocuparnos? ¿se pueden minimizar?*. Equipo de comunicación Aconsa [Sitio web]. Consultado el 15 de diciembre de 2022 de <https://bit.ly/3yx9fyr>
- Ahmadpour, P., Ahmadpour, F., Mahmud, T. M. M., Abdu, A., Soleimani, M. y Tayefeh, F. H. (2014). *PHYTOREMEDIATION OF HEAVY METALS: A GREEN TECHNOLOGY* en Heavy Metal Contamination of Water and Soil Analysis, Assessment, and Remediation Strategies. Apple Academic Press. New York. DOI: <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1201/b16566>
- Ali, H., Khan, E., Sajad, M. A. (2013). *Fitorremediación de metales pesados –Conceptos y aplicaciones*. Quimiosfera; 91(7):869-881
- Ali, A., Khan, E., Ilahi, I., "Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation". *Journal of Chemistry* (2019). DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Almada-Ruiz, L. Y., & Trujillo, S. L. (2016). *Química I*. México: Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora.

- Amuda, O. S., Alade, A. O., Hunh, Y-T., Wang, L. K., Wang M-H. S. (2017). *Toxicity, Sources, and Control of Copper (Cu), Zinc (Zn), Molybdenum (Mo), Silver (Ag), and Rare Earth Elements in the Environment en Remediation of Heavy Metals in the Environment*. CRC Press. Boca Ratón, FL.
- Árcega-Cabrera, F., Garza-Pérez, R., Noreña-Barroso, E., & Ocegüera-Vargas, I. (2015). *Impacts of geochemical and environmental factors on seasonal variation of heavy metals in a coastal lagoon Yucatan, Mexico*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(1), 58-65. doi:10.1007/s00128-014-1416-1
- Árcega-Cabrera, F., & Fargher, L.F. (2016). *Education, fish consumption, well water, chicken coops, and cooking fires: Using biogeochemistry and ethnography to study exposure of children from Yucatan, Mexico to metals and arsenic*. *Science of the Total Environment*, 568, 75-82. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.209
- Árcega-Cabrera, F., Fargher, L. F., Ocegüera-Vargas, I., Noreña-Barroso, E., Yáñez-Estrada, L., Alvarado, J., Pérez-Medina, S. (2017). *Water consumption as a source of arsenic, chromium, and mercury in children living in rural Yucatan, Mexico: Blood and urine levels*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99(4), 452-459. doi:10.1007/s00128-017-2147-x
- Árcega-Cabrera, F., Fargher, L., Quesadas-Rojas, M., Moo-Puc, R., Ocegüera-Vargas, I., Noreña-Barroso, E., Pérez-Medina, S. (2018). *Environmental exposure of children to toxic trace elements (Hg, Cr, As) in an urban area of Yucatan, Mexico: Water, blood, and urine levels*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(5), 620-626. doi:10.1007/s00128-018-2306-8
- Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., Ansarpour, M. (2017). *Removal of heavy metals from industrial wastewaters: A review*. *ChemBioEng. Rev.* 4, 37-59. <http://dx.doi.org/10.1002/cben.201600010>.
- Bolisetty, S., Peydayesh, M., Mezzenga, R. (2019). *Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis*. *Chem. Soc. Rev.* 48, 463-487. <http://dx.doi.org/10.1039/c8cs00493e>.
- Carusso, J. A., Klaue, B., Michalke, B., Rocke, D.M. (2003). *Group assessment: elemental speciation*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 56. 32-44. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0147-6513\(03\)00048-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00048-4)
- Chang, R. y College, W. (2002). *Química*. 53500, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.



Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D. C., Rajan, N., Liu, X., Niedermann, S. (2013). *Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 98. 324-330.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>

Chen, Y. Y., Tang, M. Y., Wang, S. T., Wang, Q., Zhan, W. X. y Huang, G. (2016). *Heavy metal pollution assessment of farmland soil in China based on bibliometrics*. *Chin. J. Soil Sci*. 47.

Cleveland Clinic (2022). *Heavy Metals Poisoning (Toxicity)*. Consultado el 01 de octubre de 2022 en: <https://cle.clinic/3T3Utr7>

Conti, M. E. (2007). *Heavy Metals in Food Packagings*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M., Egwurugwu, J. (2007) *Heavy metal pollution and human biotoxic effects*, *Int. J. Phy. Sci*. 2 112-118.

EFSA, European Food Safety Authority Scientific Committee (2015). *Scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed*. *EFSA Journal* 13: 4257.

EPA, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022). *Información sobre el plomo*. Consultado el 30 de septiembre de 2022 en <https://bit.ly/3Cg6wej>

Fransisca, Y., Small, D. M., Morrison, P. D., Spencer, M. J. S., Ball, A. S., Jones, P. A. H. (2015). *Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry*. *Chemosphere*. 138.1008-1013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.048>

Galiak, S., Kubrak, T., Podgóroski, R., Aebisher, D. y Bartusik-Aebicher, D. (2020). *BIOLOGICAL STRATEGIES FOR HEAVY METAL REMOVAL* en *Environmental Science of Heavy Metals. Perspectives, Practices and Challenges*. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-53617-831-9

Gallego-Picó, A., Garcinuño-Martínez, R. M., Morcillo-Ortega, M. J. y Vázquez-Segura, M. A. (2013). *Química Básica*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid. ISBN: 978-84-362-6784-6

García, A. A. (2020). *Contaminación por metales pesados en el agua*. *Ecología Verde* [Sitio web]. Consultado el 6 de diciembre de <https://bit.ly/3JvdT6n>

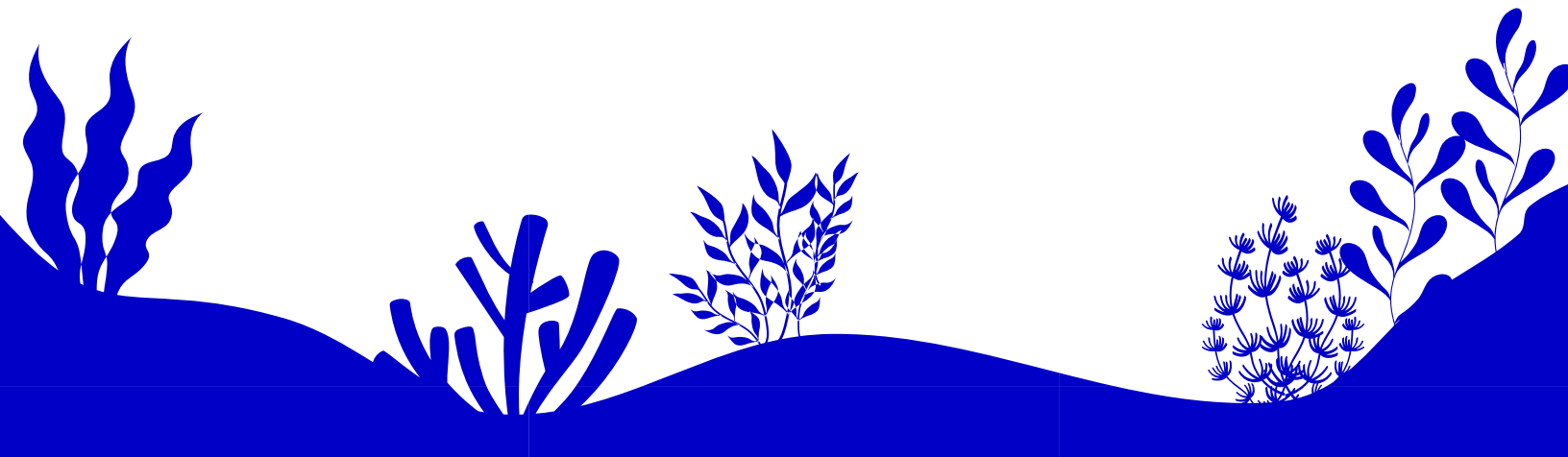
- Guerra, F., Trevizam, A. R., Muraoka, T., Marcante, N. C., Canniatti-Brazaca, S. G. (2012). *Heavy metals in vegetables and potential risk for human health*. *Sci. Agric.* 69, 54–60.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162012000100008>.
- Hirose, K. (2006). *Chemical speciation of trace metals in seawater. A review*. *Analytical Sciences*. 22. 1055-1063. DOI: <http://dx.doi.org/10.2116/anal-sci.22.1055>
- Huang, A., Pan, X-D., Wu, P-G., Han, J-L., Chen, O. (2014). *Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China*. *Food Control*. 36. 248-252.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N., (2014). *Toxicity, mechanism, and health effects of some heavy metals*. *Interdiscip. Toxicol* 7, 60–72.  
<http://dx.doi.org/10.2478/intox-2014-0009>.
- Koller, M., & Saleh, H. M. (2018). *Introductory Chapter: Introducing Heavy Metals*. In H. E. M. Saleh, & R. F. Aglan (Eds.), *Heavy Metals*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74783>
- Kubrak, T., Podgórski, R., Aebisher, D., Galiniak, S., Bartusik-Aebisher, B. (2020). *BIOMASS-BASED ABSORBENTS FOR HEAVY METAL REMOVAL* en *Environmental Science of Heavy Metals*. Nova Science Publishers, Inc. 87-111. ISBN:978-1-53617-831-9.
- Le, T. T. N., Le, V. T., Dao, M. U., Nguyen, Q. V., Vu, T. T., Nguyen, M. H., Tran, D. L., Le, H. S. (2019). *Preparation of magnetic graphene oxide/chitosan composite beads for effective removal of heavy metals and dyes from aqueous solutions*. *Chem. Eng. Commun.* 206, 1337–1352.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00986445.2018.1558215>.
- Li, N., Kang, Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang, Q., Luo, J. (2015). *Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China*. *Science of the Total Environment*. 521-522. 144–151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081>.
- Ong, S. T., Ha, S. T., Keng, P. S., Lee, S. L. y Hung, Y. T. (2017). *Removal of Heavy Metals by Low-Cost Adsorption Materials* en *Remediation of heavy metals in the environment*. CRC Press. Boca Raton, Florida. ISBN: 9781466510029
- Orihuela, Q. R. (2021). *Ríos muertos: Cicatrices de la minería en el Sur del Perú*. [Sitio web]. Consultado el 7 de diciembre de 2022 de <https://bit.ly/3J8rG1k>

- Pratush, A., Kumar, A., Hu, Z. (2018). *Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review*. Int. Microbiol. 21, 97-106.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10123-018-0012-3>.
- Quintanar, L. (2018). *Metales que mueven al cuerpo*. AyP. Cinvestav. 3(3).
- Sarma, H. (2011). *Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology*. J. Environmental Science and Technology. 4. DOI: 10.3923/jest.2011.118.138
- SEMARNAT (s.f.) *Guía para el consumo y manejo sustentable de pilas*. [Documento PDF]. Recuperado de <https://bit.ly/2H4Xsy3>
- Singh, A., Sharma, R. K., Madhoolika, A., Marshall, F. M. (2010). *Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste wáter irrigated área of Varanasi, India*. Tropical Ecology. 51 (28). 375-387. ISSN: 0564-3295.
- Soto-Jiménez, M. F. (2011). *Transferencia de elementos traza en tramas tróficas acuáticas*. Hidrobiológica 21(3): 239-248.
- Tóth, G., Hermann, T., Szatmári, G., Pásztor, L. (2016). *Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment*. Science of The Total Environment. 565. 1054-1062. ISSN 0048-9697.
- Ullah, A. K. M. A., Maksud, M. A., Khan, S. R., Lutfu, L. N., Quraishi, S. B. (2017). *Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh*. Toxicol. Rep. 4, 574-579.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.10.002>
- Valerio, M. (2016). *Bangladesh: 20 millones aún beben agua contaminada por arsénico*. El mundo [Sitio web]. Consultado el 7 de diciembre de 2022 de <https://bit.ly/3JhSBbc>
- Yahaya, Y. A. y Don M. M. (2014). *Pycnoporus sanguineus as Potential Biosorbent for Heavy Metal Removal from Aqueous Solution: A Review*. Journal of Physical Science. 25. 1-32.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. y Ma, I. A. (2006). *Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. Sci. Total Environ. 368 (2-3). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016
- Zamora-Ledezma, C., Negrete-Bolagay, D., Figueroa, F., Zamora-Ledezma, E., Ni, M., Alexis, F., & Guerrero, V. H. (2021). *Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods*. Environmental Technology & Innovation, 22, 101504. doi:10.1016/j.eti.2021.101504

Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., Yao, X. (2020). *Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017*. Glob. Ecol. Conserv. 22, e00925. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>.

# Capítulo 4

## Contaminación acuática por hidrocarburos



# Contaminación acuática por hidrocarburos

## ¿Qué son los hidrocarburos?

Moléculas formadas por carbono e hidrógeno.

Se encuentran en tres formas:



Sólido



Líquido



Gaseoso

## ¿En qué se utilizan los hidrocarburos?

Son los principales componentes del petróleo y del gas natural, sirven como combustibles y lubricantes. Además, son la materia prima para producir plásticos, fibras, hules, disolventes, explosivos y productos químicos para la industria.

## ¿Cómo se clasifican?

Polares

### Resinas

Porción del crudo insoluble en propano líquido, pero soluble en n-heptano y muy viscosas.

No Polares

### Asfaltenos

Solubles en tolueno y/o xileno e insoluble en n-heptano.

### Aromáticos

Estructura cíclica determinada que limita a la estructura hexagonal del benceno.

### Alifáticos

Átomos de carbono unidos entre sí por enlaces sencillos o por enlaces dobles o triples.

### Monocíclicos

Compuestos formados por un solo ciclo o anillo aromático.

### Saturados

Carbonos unidos por enlaces sencillos.

### Policíclicos

Compuestos que tienen dos o más anillos aromáticos.

### Insaturados

Carbonos unidos por enlaces dobles y triples.



En particular, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) constituyen la principal forma de contaminación de los ambientes acuáticos derivado de las actividades que el ser humano realiza, tales como: extracción y derrames de petróleo, quema de combustibles, incendios forestales, entre otros.



## ¿Cómo afectan?

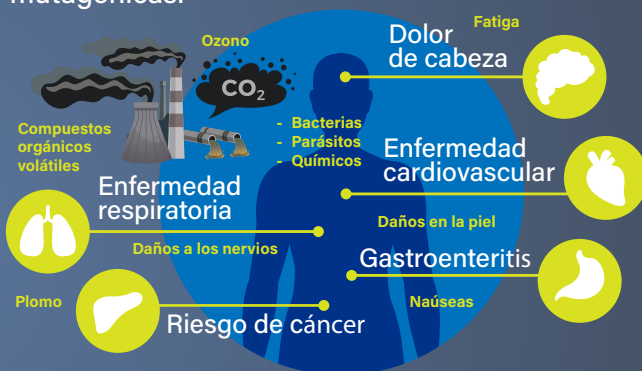
### Medio acuático

Afectan la sobrevivencia y el éxito reproductivo de las especies, pudiendo provocar alteraciones genéticas. También pueden ocasionar cambios en el tamaño y crecimiento de las poblaciones.



### Ser humano

De acuerdo con la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, los HAP se consideran contaminantes persistentes que han suscitado preocupación a nivel mundial, debido a sus propiedades carcinogénicas y mutagénicas.



## ¿Qué acciones puedo realizar?

- 1 Disminuye el uso de combustibles fósiles**

Usa bicicleta, comparte tu vehículo o utiliza el transporte público
- 2 Disminuye el uso de plástico**

Evita el uso de bolsas de plástico y prefiere las bolsas ecológicas de tela, recicla todo el plástico que puedas
- 3 Productos de belleza**

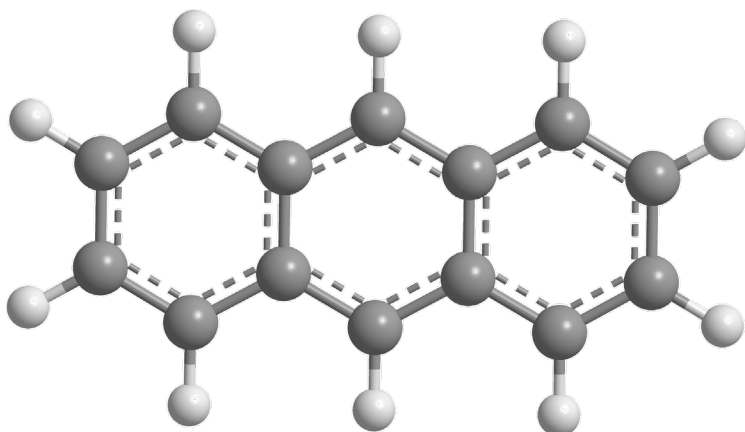
Prefiere aquellos elaborados con ingredientes naturales
- 4 Prevención de incendios**

Si sales de paseo o a acampar, asegúrate de apagar tu fogata y no tires colillas de cigarro
- 5 Cocina**

Disminuye el uso de parrilladas y nunca tires el aceite de cocina al drenaje

# Hidrocarburos

Son compuestos orgánicos cuyas moléculas están formadas por átomos de carbono e hidrógeno sin grupos funcionales polares (**Figura 4-1**). La electronegatividad similar entre el carbono y el hidrógeno los hace compuestos altamente persistentes. Por esto, son considerados contaminantes orgánicos de gran impacto (Mean, 2007).

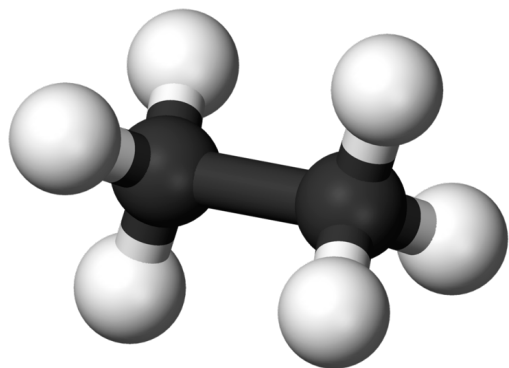


**Figura 4-1.** Molécula de hidrocarburo (antraceno).

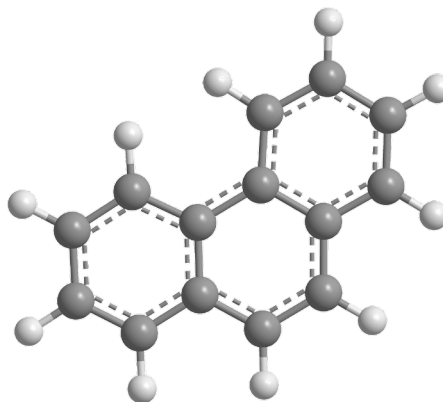
## Clasificación de los hidrocarburos

Los hidrocarburos se dividen en dos clases principales conforme a su estructura química: los alifáticos y los aromáticos (**Figuras 4-2 y 4-3**) (Olah, 2018). De acuerdo con su capacidad química para mezclarse con otros compuestos, pueden separarse en polares, asfaltenos y resinas que sí se mezclan, o no polares, alifáticos y aromáticos que no se mezclan (Borges y PopeC, 2013).

En general, los hidrocarburos son el constituyente principal del petróleo crudo que en su estado natural lo conforman una mezcla de compuestos orgánicos de estructura variada y de pesos moleculares diferentes, por lo que, de forma habitual, se clasifican en cuatro grupos orgánicos bien definidos que son los que se explican en la **Figura 4-4** (Árcega-Cabrera & Dótor-Almazán, 2020).



**Figura 4-2.** Ejemplo de hidrocarburo alifático (etano).



**Figura 4-3.** Ejemplo de hidrocarburo aromático (fenantreno).





Figura 4-4. Clasificación general de los hidrocarburos de petróleo.

### No polares/Hidrocarburos alifáticos

Son átomos de carbono unidos entre sí, se dividen en dos tipos, los saturados (con enlaces simples) y los insaturados (con al menos un enlace doble).

### No polares/Hidrocarburos aromáticos

Se encuentran formados por una estructura cíclica determinada que imita a la estructura hexagonal del benceno, de los que son derivados. Deben su nombre a que originalmente se obtenían degradando algunas sustancias químicas que desprendían olor agradable, poseen las propiedades características del anillo bencénico y son líquidos.

### Polares/Resinas

Están constituidas por anillos aromáticos, esta fracción del crudo es insoluble en propano líquido, pero soluble en n-heptano, son líquidas y muy viscosas, de alto peso molecular.

### Polares/Asfaltenos

Son la fracción del petróleo soluble en tolueno y/o xileno e insoluble en n-heptano.

## Hidrocarburos alifáticos halogenados (HAH)

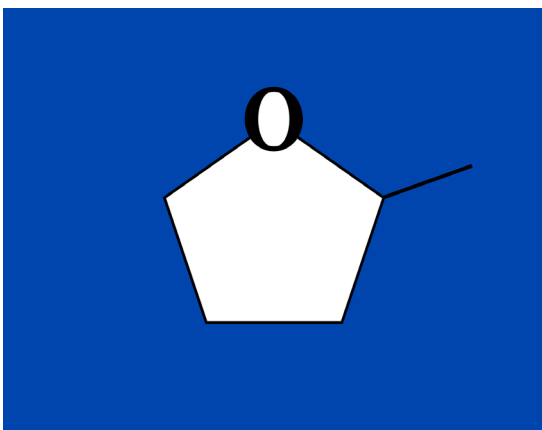


Figura 4-5. Estructura química de un HAH (elaboración propia).

Corresponden a átomos de carbono unidos entre sí por enlaces sencillos, por lo que se encuentran saturados o por enlaces dobles o triples lo que los hace insaturados (Wade & Sweet, 2011).

Las moléculas alifáticas consisten en un esqueleto de átomos de carbono y otros átomos como hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y haluros, que se unen al carbono (Figura 4-5). Los átomos de carbono se unen en cadenas abiertas lineales o ramificadas. Además, forman una fracción importante de los hidrocarburos del petróleo entre el 10 y el 50 % (Poulicek, 1994).

## Hidrocarburos aromáticos monocíclicos (HAM)

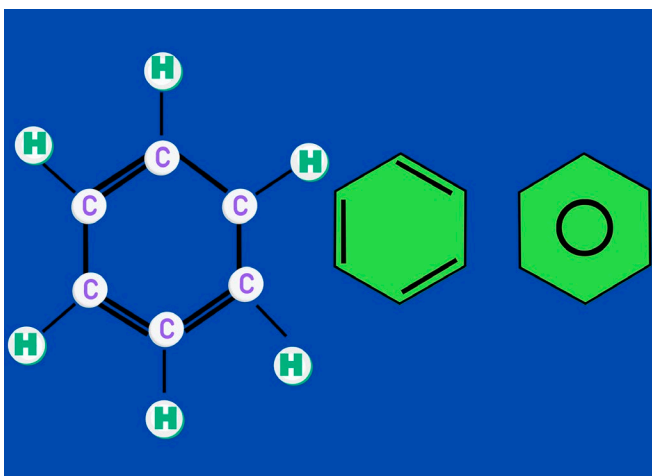


Figura 4-6. Estructura química de un HAM (elaboración propia).

Como su nombre lo indica, son compuestos que están conformado por un solo ciclo o anillo aromático (Figura 4-6). Se encuentran tanto en agua superficial como subterránea debido a que no se evaporan. Algunos ejemplos son: benceno, etilbenceno, clorobenceno, tolueno, hexaclorobenceno, entre otros (Jiménez, 2006).

## Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

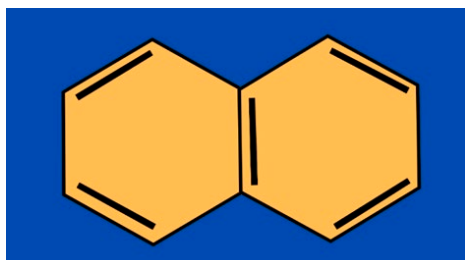


Figura 4-7. Estructura química de un HAP.

Constituyen una extensa clase de compuestos orgánicos que contienen dos o más anillos aromáticos fusionados que están compuestos por átomos de carbono y de hidrógeno, ver Figura 4-7 (Phillips, 1999).



**Figura 4-8.** Combustible para vehículo.

En general, los hidrocarburos son muy utilizados para distintas industrias (Jiménez, 2006). Por un lado, los hidrocarburos alifáticos se utilizan como disolventes de aceites, grasas, caucho, resinas, en la industria de la obtención y recuperación de aceites, fabricación de pinturas, tintas, pegamentos y adhesivos, así como materia prima de síntesis orgánica (Bustamante, 2017). Mientras que los productos derivados de los hidrocarburos saturados son todos los combustibles, ver **Figura 4-8** (Wade & Sweet, 2011).

Al tener una gran capacidad de combustión, se emplean particularmente en la generación de energía, combustibles, producción de plástico, solventes y otros productos de uso común, como disolventes, productos de limpieza y fertilizantes, algunos incluso son utilizados como plaguicidas, **Figura 4-9** (Ortuño, 2009).



**Figura 4-9.** Envases de plástico.

## El medio acuático y los hidrocarburos

El medio acuático se encuentra continuamente expuesto a una amplia gama de elementos y/o compuestos que son liberados por fuentes naturales y por actividades antropogénicas; dependiendo de su concentración o forma química, pueden constituirse como contaminantes. Entre éstos están los hidrocarburos y, dentro de ellos, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que son los principales causantes de dicha contaminación (Bucheli *et al.*, 2004; Wolska *et al.*, 2012). Los HAP se encuentran en los sedimentos marinos y también en las aguas asociadas con la contaminación costera y de estuarios urbanizados, así como en los ríos.

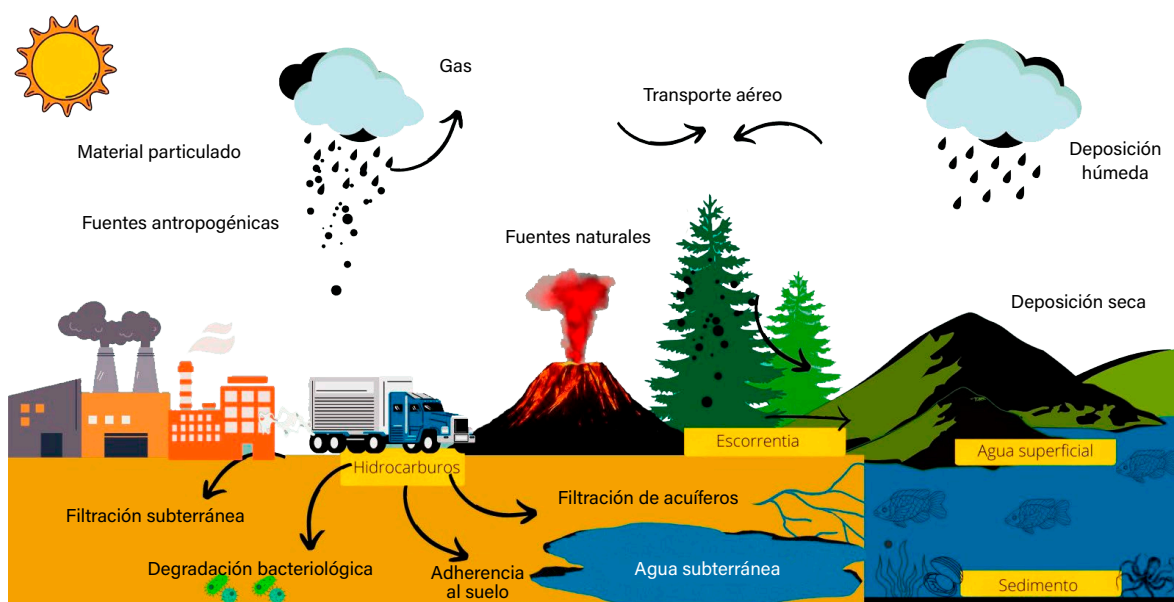
Como este tipo de compuestos no son solubles en agua, tienden a precipitarse hacia el sedimento cuando se encuentran encapsulados en algún dispersante o materia orgánica presente, en el cual su concentración puede ser de 3 a 4 veces mayor que en la columna de agua (Baali *et al.*, 2016). Derivado de su presencia en el agua, la exposición de los animales marinos es generalizada. Sin embargo, su presencia en ellos depende de diversos factores como los que se muestran en la **Figura 4-10** (FCA, 2007).



**Figura 4-10.** Factores que afectan la presencia de hidrocarburos en el ambiente acuático. Elaborado a partir de Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C. (2007).

## Transporte y destino de los HAP en aire, agua, suelo y sedimento

Los HAP pueden provenir de fuentes naturales como la erupción de un volcán o incendios forestales, o bien, a través de fuentes antropogénicas como las actividades de la industria petrolera o la combustión de la gasolina que utilizan los vehículos de transporte. Una vez formados los HAP, pueden llegar al ambiente acuático a través del transporte aéreo, la deposición húmeda o seca, las escorrentías y filtración por acuíferos, dando como resultado la contaminación de aguas superficiales, subterráneas y fondo de los ambientes acuáticos (**Figura 4-11**).



**Figura 4-11.** Transporte y destino de los HAP en aire, agua, suelo y sedimento. Elaborado a partir de Amaringo et al. (2019).

## Efectos de los HAP en los ambientes acuáticos

Originan diferentes problemas fisiológicos y/o bioquímicos en los organismos afectados, los cuales tienen consecuencias en la sobrevivencia y el éxito reproductivo, pudiendo provocar alteraciones genéticas. Todos estos impactos determinan cambios en la eficacia biológica de los organismos afectados, por lo tanto, generan cambios en el tamaño y crecimiento de las poblaciones de cada especie acuática.



**Figura 4-12.** *Plataforma petrolera.*



**Figura 4-13.** *Peces con asfixia por derrame de petróleo. Imagen tomada por Patricia López, Gaceta UNAM (2018).*

En particular, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) constituyen la principal forma de contaminación de los ambientes acuáticos derivada de las actividades que el ser humano realiza (**Figura 4-12**), algunas de estas actividades han generado que el petróleo llegue al mar en donde puede evaporarse, o bien, ser degradado en un proceso muy lento por bacterias (FCA, 2007).

Los derrames de petróleo forman junto con el agua una capa impermeable que obstaculiza el paso de la luz solar que utiliza el fitoplancton para realizar el proceso de la fotosíntesis, interfiere el intercambio gaseoso y cubren la piel y las branquias de los animales acuáticos provocándoles la muerte por asfixia (**Figura 4-13**).

Los impactos de mayor alcance en el medio marino, debido al comportamiento físico-químico de los HAP, se producen sobre las comunidades de especies bentónicas, que viven en contacto con los fondos marinos y sobre las comunidades de especies demersales, asociadas a esos fondos (FCA, 2007). En especial, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) tienden a acumularse en las grasas y sedimentarse. En aguas con temperaturas elevadas, la mayor parte de este tipo de hidrocarburos se evaporan a la atmósfera en uno o dos días, y en aguas frías este proceso puede tardar hasta una semana.

## Efectos de los HAP en la salud humana

Los HAP se consideran contaminantes persistentes que han suscitado preocupación a nivel mundial debido a sus propiedades carcinogénicas y mutagénicas (Węgrzyn, 2006), por lo que la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) han

identificado los HAP más frecuentes y han clasificado a 16 HAP como prioritarios (**Figura 4-14**). Se encuentran en esta lista debido a sus propiedades carcinogénicas y mutagénicas en general, aunque su propiedad carcinogénica varía de un compuesto a otro. Por ejemplo, el benzo(a)pireno se considera un potente carcinógeno, el criseno se considera menos carcinógeno y el naftaleno es no carcinógeno (EPA, 1993; IARC, 2013).

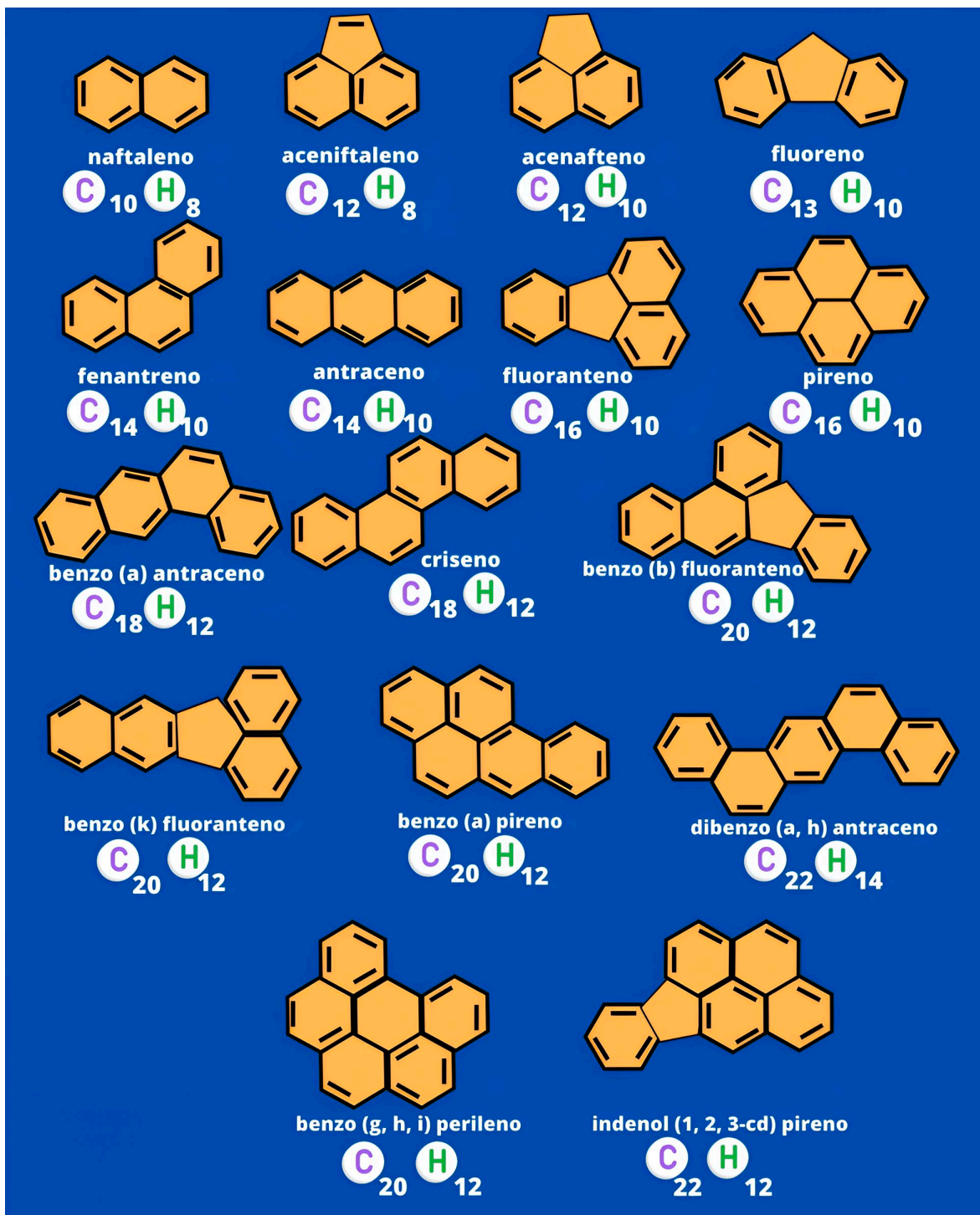


Figura 4-14. Estructura y fórmula química de los 16 HAP prioritarios (Chavacán, 2022).

## Legislación de hidrocarburos

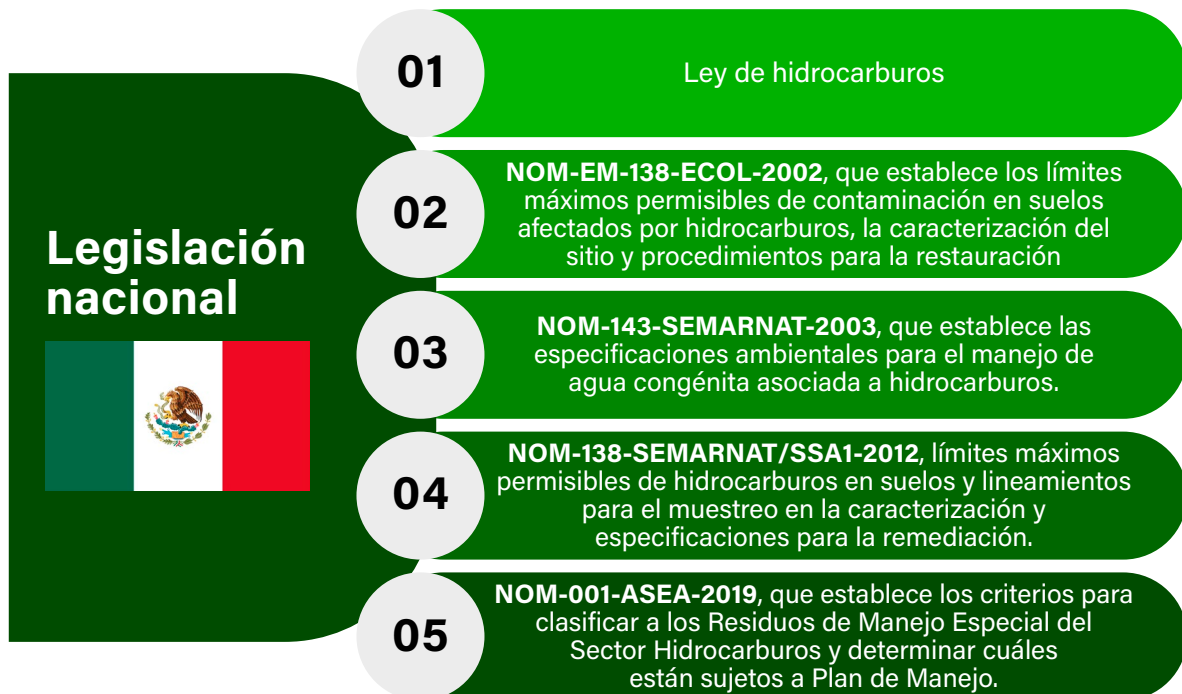
### En el mundo

La revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones de contaminantes de vehículos de carretera menciona las cuatro restricciones legales más importantes en las emisiones de gases provenientes de los hidrocarburos como:

- Regulación CARB (California Air Resources Board)
- Regulación EPA (Environmental Protection Agency)
- Regulación EURO (Unión Europea)
- Regulación japonesa

### En el país

En México existe la Ley de Hidrocarburos, así como cuatro Normas Oficiales Mexicanas para su manejo en materia de contaminación de suelos y agua. La NOM-EM-138-ECOL-2002 (DOF, 2002), NOM-138-SEMARNAT/SSAI-2012 (SEMARNAT, 2012), NOM-143-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2003); por último, la norma más reciente es la NOM-001-ASEA-2019 (DOF, 2019). Los hidrocarburos son y deben ser objeto de vigilancia por parte de diversas dependencias del gobierno (**Figura 4-15**).



**Figura 4-15.** Leyes y NOM en materia de contaminación de agua y suelo por hidrocarburos.

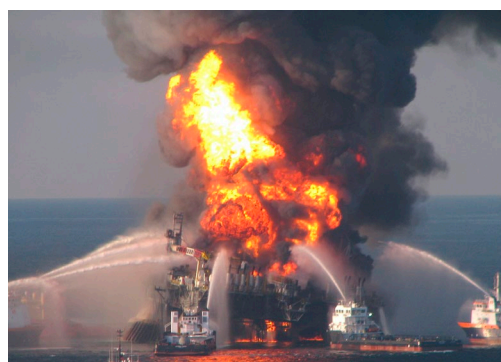
## Algunos ejemplos de contaminación por hidrocarburos en México y el mundo



**Figura 4-16.** Imagen tomada del Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2019.

El 3 de junio de 1979, el pozo Ixtoc I, ubicado a unos 80 km del estado mexicano de Campeche, explotó accidentalmente, ello ocasionó que un total de 461 mil toneladas de petróleo contaminaran el Golfo de México (**Figura 4-16**). Este gran derrame colapsó la plataforma y tomó nueve meses frenar el vertido de crudo. El incendio provocado por la explosión duró 280 días.

El 20 de abril de 2010, la plataforma petrolera Deepwater Horizon, localizada al sur de Luisiana, Estados Unidos, sufrió una explosión en la cual se liberaron 7.8 x 10<sup>8</sup> litros de petróleo crudo al Golfo de México (**Figura 4-17**). El petróleo brotó durante 78 días, por lo que este derrame es considerado uno de los más grandes de la historia. Miles de animales se vieron afectados y cientos de kilómetros de manglares y humedales murieron. Varios investigadores estiman que el ecosistema del fondo marino tardará entre 50 y 100 años en recuperarse.



**Figura 4-17.** La unidad de perforación Deepwater Horizon realizaba operaciones en abril de 2010 cuando se produjo una explosión e incendio que trágicamente cobraron 11 vidas e hirieron a otros 16 miembros del personal (Foto: United States Coast Guard, 2010).

### ¿Qué acciones puedo tomar?

- 1 Disminuye el uso de combustibles fósiles**

Usa bicicleta, comparte tu vehículo o utiliza el transporte público
- 2 Disminuye el uso de plástico**

Evita el uso de bolsas de plástico y prefiere las bolsas ecológicas de tela, recicla todo el plástico que puedas
- 3 Productos de belleza**

Prefiere aquellos elaborados con ingredientes naturales
- 4 Prevención de incendios**

Si sales de paseo o a acampar, asegúrate de apagar tu fogata y no tires colillas de cigarro
- 5 Cocina**

Disminuye el uso de parrilladas y nunca tires el aceite de cocina al drenaje



## Actividades de aprendizaje

1. Ve a la sección de este capítulo *¿Qué acciones puedo tomar?* y explica qué acciones vas a implementar en tu vida cotidiana.
2. Visita el recurso interactivo que la UNAM desarrolló para aprender más acerca de los hidrocarburos en la siguiente URL:  
<https://www.unamenlinea.unam.mx/recurso/83308-hidrocarburos>
3. También puedes visitar la URL: <https://seminariohidrocarburos.sdi.unam.mx/> el cual corresponde al Seminario Universitario sobre Investigación en Hidrocarburos (SUIH), adscrito a la Secretaría de Desarrollo Institucional con sede en el Instituto de Geología de la UNAM, este seminario busca propiciar la participación y formación de alumnos en temas de hidrocarburos a través de tesis, seminarios y servicio social.
4. En los Recursos Educativos Digitales Interactivos Bachillerato UNAM (REDIs), puedes practicar y aprender más acerca de lo que has aprendido sobre hidrocarburos.  
[https://redi.cuaieed.unam.mx/C\\_ficha/leccion/240](https://redi.cuaieed.unam.mx/C_ficha/leccion/240)
5. Una vez que hayas visitado estos sitios contesta lo siguiente:
  - a. ¿De dónde provienen los hidrocarburos?
  - b. ¿Cómo se clasifican?
  - c. ¿Cuáles son los más tóxicos?
  - d. ¿Qué enfermedades pueden generar los hidrocarburos aromáticos policíclicos?

## Referencias

- AIARC, Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (2013). *Bitumens and bitumen emissions, and some N- and S-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons., IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Lyon: International Agency.
- Amaringo, F. & Narvaez, J.F. & Gómez, M. & Pérez, F. (2019). *Contaminación en agua y sedimentos por hidrocarburos aromáticos policíclicos: Revisión de la dinámica y los métodos analíticos. Gestión y Ambiente*. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.77874>
- Árcega-Cabrera, F. y Dótor-Almazán, A. (2020). *Atlas de línea base ambiental del Golfo de México, Tomo IV Hidrocarburos*.
- Atlas, R. y Philp, J. (2005). *Bioremediation: applied microbial solutions for real-world environmental cleanup*. ASM Press.
- Baali, A. *et al.* (2016). Bile metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in three species of fish from Morocco. *Environmental Sciences Europe*, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 1-6, 2016. DOI 10.1186/s12302-016-0093-6
- Borges, H. y Pope, P. (2013). *Los Asfaltenos y sus efectos en la producción de petróleo*. Portal del Petróleo. Recuperado el 30 de septiembre de 2022, de <https://www.portaldelpetroleo.com/>
- Bucheli, T.D. *et al.* (2004) *Polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon, and molecular markers in soils of Switzerland. Chemosphere* (Oxford), [s. l.], v. 56, n. 11, p. 1061-1076, 2004. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.06.002
- Bustamante, A. (2017). *Origen y Distribución de los Hidrocarburos Alifáticos en el Sedimento del Sur del Golfo de México*. CDMX: UNAM.
- Carelys, R. (2016). *Evaluación de la capacidad de un suelo con alto contenido de carbono orgánico para remover fenantreno de muestras acuosas*. Recuperado el 1 de octubre de 2022, de [https://www.researchgate.net/publication/332251100\\_EVALUACION\\_DE\\_LA\\_CAPACIDAD\\_DE\\_UN\\_SUELO\\_CON\\_ALTO\\_CONTENIDO\\_DE\\_CARBONO\\_ORGANICO\\_PARA\\_REMOVER\\_FENANTRENO\\_DE\\_MUESTRAS\\_ACUOSAS](https://www.researchgate.net/publication/332251100_EVALUACION_DE_LA_CAPACIDAD_DE_UN_SUELO_CON_ALTO_CONTENIDO_DE_CARBONO_ORGANICO_PARA_REMOVER_FENANTRENO_DE_MUESTRAS_ACUOSAS)
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2019). *NOM-001-ASEA-2019, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial del Sector Hidrocarburos y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, así como los elementos para la formulación y gestión de los Planes de Manejo de Residuos Peligrosos y de Manejo Especial del Sector Hidrocarburos*. Recuperado el 30 de septiembre de 2022. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5557886&fecha=16/04/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5557886&fecha=16/04/2019#gsc.tab=0)

DOF, Diario Oficial de la Federación (2002). *NOM-EM-138-ECOL-2002, Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración*. Recuperado el 1 de octubre de 2022. <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacion?regulacionId=21299>

EPA, Agencia de Protección Ambiental (1993). *Other Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. EPA/600/R-93/089.

FCA, Fondo para la comunicación y la educación ambiental (2007) Recuperado el 2 de octubre de 2022, de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-petroleo/>

Jiménez, B. (2006). *La contaminación ambiental en México Causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa.

López, P. (2018). *Presentan resiliencia asombrosa de peces dañados por petróleo*, Gaceta UNAM. Recuperado el 2 de octubre de 2022, de <https://www.gaceta.unam.mx/presentan-resiliencia-asombrosa-de-peces-danados-por-petroleo/>

Mean, H. (2007). *Sediment Toxicity of Petroleum Hydrocarbon Fractions*. The bussines of innovation.

Olah, G. (2018). *Hydrocarbon Chemistry*. Hoboken, EUA: John Wiley & Sons.

Ortuño, S. (2009). *El mundo del petróleo: Origen, usos y escenarios*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

Phillips, D. (1999). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 443(1-2), pp. 139-147. Recuperado el 3 de octubre de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383574299000162>

Poulicek, M. (1994). *Biodégradation des molécules organiques naturelles et artificielles en milieu marin. Cours D, Oceanographie Européens*, 1-105.

SEMARNAT, Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (2003). *NOM-143-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones ambientales para hidrocarburos*. Recuperado el 3 de octubre de 2022. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO561.pdf>

SEMARNAT, Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (2012). *NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación*. Recuperado el 3 de octubre de 2022.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5313544&fecha=10/09/2013](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5313544&fecha=10/09/2013)

United States Coast Guard (2010). US Department of homeland security. Disponible en: <https://www.dco.uscg.mil/OCSNCOE/Accidents-Investigations/DWH-Macondo/>

Wade, T. & Sweet, T. (2011). *Analyses of Water Samples From the DeepwaterHorizon Oil Spill: Documentation of the Subsurface Plume*. Geophysical Monograph Series, 77-82.

Wolska, L., Mechlińska, A., Rogowska, J. & Namieśnik, J. (2012). Sources and Fate of PAHs and PCBs in the Marine Environment. *Critical Reviews of Environmental Science and Technology* pp. 1172-1189. 42. 1172-1189. 10.1080/10643389.2011.556546.

Węgrzyn. (2006). *Modified analytical method for polycyclic aromatic hydrocarbons, using Sec for sample preparation and RP-HPLC with fluorescence detection. application to different food samples*. *Acta Chromatographica*, (17), pp. 233-249.

# Capítulo 5

## Contaminación acuática por plaguicidas

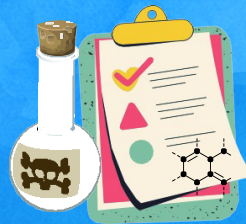


# Contaminación acuática por plaguicidas



## ¿Qué son?

Un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias químicas o biológicas destinadas a destruir cualquier tipo de plaga.



## ¿Cómo se clasifican?

Se pueden clasificar por objeto de control, estructura química, su permanencia en el ambiente, su toxicidad y efectos en la salud.



## ¿Cómo actúan?

Interfieren en los sistemas biológicos con la finalidad de llevar a cabo su control o eliminación.



## ¿En qué productos los encontramos?

En rodenticidas, herbicidas, insecticidas, fungicidas, acaricidas, defoliantes, entre otros.



## Fuentes que los originan

Aplicados y transformados son trasladados por factores físicos y químicos fuera de la fuente de emisión, la cual puede ser de origen doméstico, industrial, agrícola o ganadero, llegando de esta forma al ambiente acuático, iniciando procesos que pueden alterarlo.

## ¿Cómo llegan al ambiente acuático?

Al ser lixiviados o arrastrados por medio de la lluvia o el riego hasta los cursos de agua subterránea y superficial donde se introducen en las cadenas alimenticias.



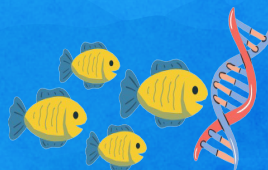
## ¿Cuánto tiempo permanecen en el ambiente?

Su persistencia en el medio ambiente depende de factores como luz, humedad, acidez y actividad microbiana, y puede variar desde horas hasta ser permanentes, además pueden bioacumularse y biomagnificarse.



## ¿Quién los regula?

La legislación a nivel mundial está dada principalmente por la OMS y la FAO; a nivel nacional, por leyes y normas oficiales mexicanas, destacando a la NOM-232-SSA1-2009.



## ¿Cómo afectan?

Los efectos sobre los organismos acuáticos son cancerígenos, teratogénicos, dañan el ADN, inhiben su reproducción y pueden causarles la muerte.



## ¿Cómo podemos actuar?

- No adquirir productos de dudosa procedencia ni productos caducados.
- Al usarlos, leer la etiqueta, seguir las instrucciones de aplicación y precauciones de manejo.
- No utilizar plaguicidas que contengan principios activos prohibidos como el DDT, paratión metílico o aldrín.
- No tirar los envases al medio ambiente ni reutilizarlos.

## Plaguicidas

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias químicas o biológicas destinadas a destruir diferentes tipos de plagas, **Figura 5-1** (FAO, 2019).



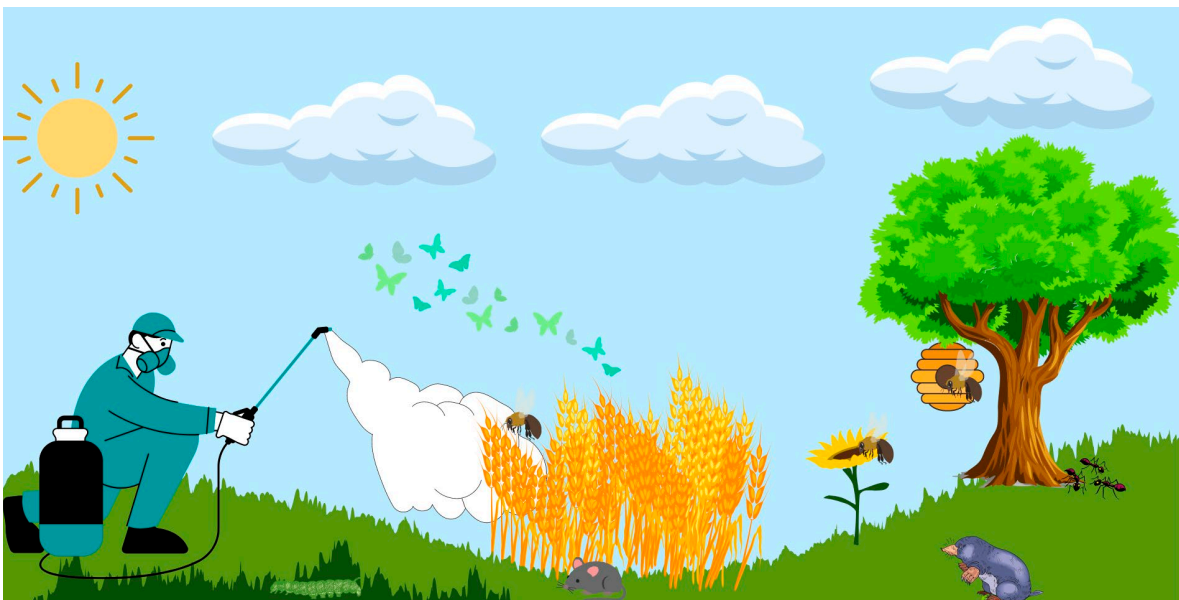
**Figura 5-1.** *Plaguicida.*



**Figura 5-2.** *Aplicación de productos químicos en la agricultura.*

Los residuos de plaguicida, la misma FAO los define como: “Cualquier sustancia especificada presente en alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales como consecuencia del uso de un plaguicida”. El término incluye cualquier derivado de un plaguicida, como metabolitos, productos de reacción e impurezas consideradas de importancia toxicológica (Ongley, 1997).

La aplicación de productos químicos para el control de plagas es uno de los métodos más usados en la agricultura mundial (**Figura 5-2**); pero, independientemente de sus beneficios, los plaguicidas son sustancias químicas deliberadamente tóxicas, creadas para controlar o eliminar algún sistema biológico en particular; sin embargo, carecen de selectividad real, es decir, afectan simultáneamente tanto a la “especie blanco” como a otras categorías de seres vivos, particularmente al ser humano (**Figura 5-3**) (OPS, 2002).



**Figura 5-3.** *Carencia de selectividad de los plaguicidas (elaboración propia).*



Los plaguicidas se pueden clasificar de acuerdo con distintos criterios (ver **Tabla 5-1**); por ejemplo: su objeto de control, estructura química, su permanencia en el ambiente, su toxicidad y sus efectos a la salud (Botello, Rendón, & G, 2014; Valdez & García, 2000).

**Tabla 5-1.** Clasificación general de los plaguicidas.

<b>Según su objeto de control</b>	Herbicida Rodenticida	Insecticida defoliante	Acaricida	Fungicida
<b>Estructura química</b>	Organoclorados	Organofosforado	Piretroide	Organometálico o carbamato
<b>Permanencia</b>	No persistentes	Persistente	Moderadamente persistente	Permanente
<b>Efectos en la salud</b>	Neurotóxico	Nefrotóxico	Hepatotóxico Mutagénico	Citotóxico Cancerígeno

## Persistencia de los plaguicidas

Se sabe que la persistencia en el medioambiente depende de las condiciones de éste como la luz, la humedad, la acidez y la actividad microbiana, todo lo cual puede contribuir a la descomposición de un compuesto, dando como resultado diferentes tiempos de vida media, ver **Tabla 5-2** (Ramírez & Lacasaña, 2021).

**Tabla 5-2.** Persistencia y vida media de los plaguicidas.

<b>Persistencia*</b>	<b>Vida media**</b>
No persistente	De días hasta 12 meses
Moderadamente persistente	De 1 a 18 meses
Persistentes	De varios meses hasta 20 años
Permanentes	Indefinidamente

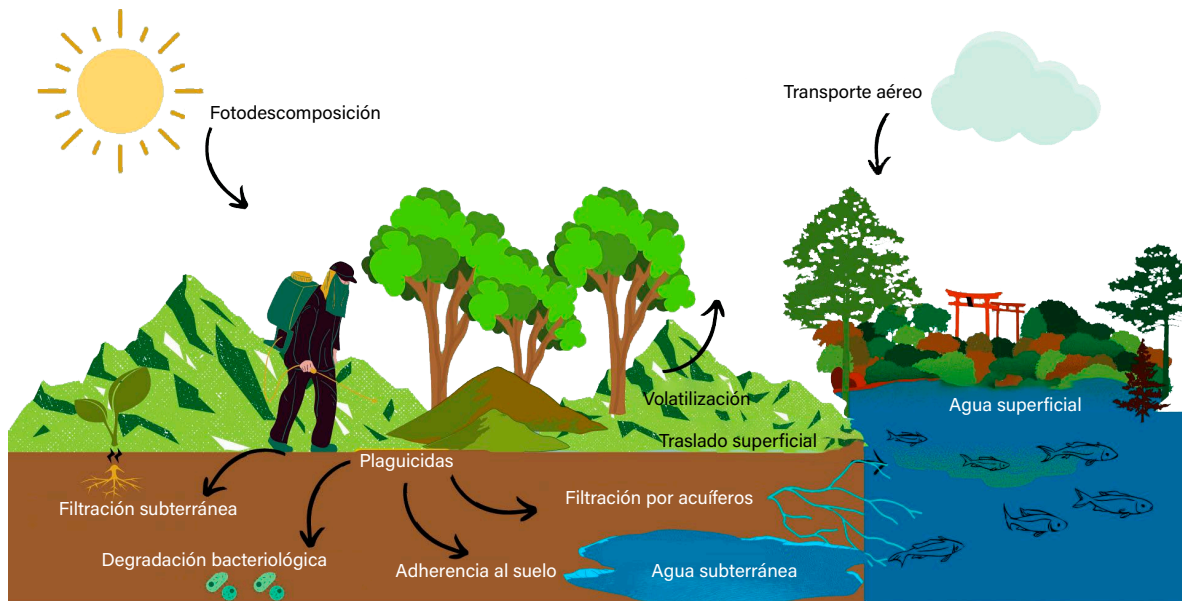
\*Capacidad de una sustancia o compuesto de permanecer en un sustrato del ambiente, en particular después de que ha cumplido el objetivo por el cual se aplicó.

\*\*Lapso necesario para que se degrade la mitad del compuesto o mezcla aplicada.

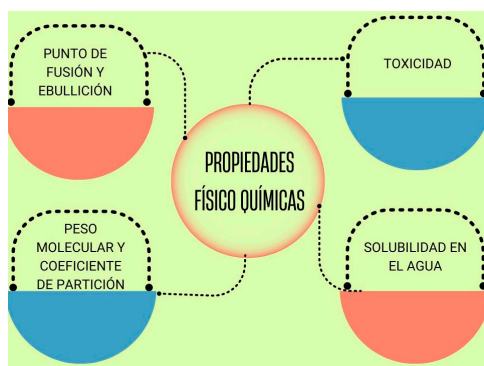
## Contaminación del agua por plaguicidas

La contaminación del agua por plaguicidas se produce al ser lixiviados o arrastrados en los campos de cultivo por medio de la lluvia o el riego hasta los cursos de agua subterránea y superficial donde se introducen en las cadenas alimenticias, pudiendo afectar a organismos, ecosistemas y eventualmente al ser humano, por ello, se considera que los efectos producidos en los organismos y en el medioambiente constituyen una advertencia de las posibles repercusiones en la salud humana (Carvalho, 1993).

Los plaguicidas son benéficos cuando son usados de manera responsable, moderada y adecuada; sin embargo, esto no es común que suceda, por lo que una vez aplicados son transformados y trasladados por deposición húmeda y seca fuera de la fuente de emisión, la cual puede ser de origen industrial, agrícola, ganadera o doméstica, iniciando procesos que pueden alterar los diferentes sistemas naturales, como los ambientes acuáticos. Cuando esto sucede, dichas sustancias pueden volverse un contaminante (**Figura 5-4**) (OMS, 2022; Jiménez, 2001).



**Figura 5-4.** Procesos asociados a la contaminación de los plaguicidas en el ambiente.



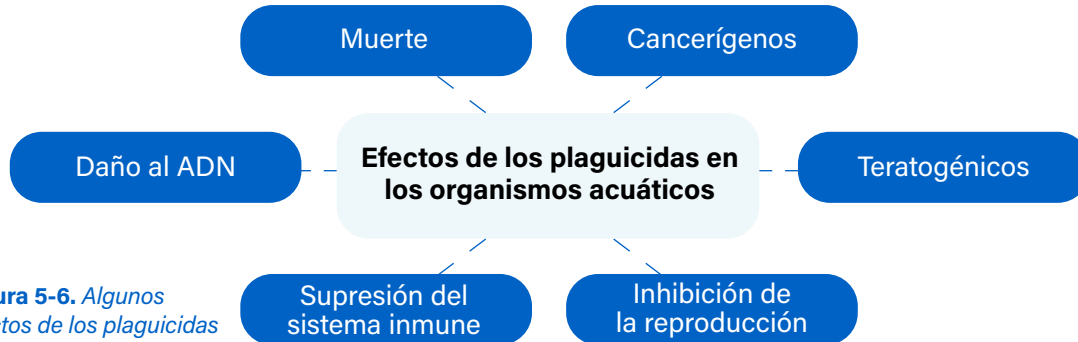
**Figura 5-5.** Propiedades físicas y químicas de los plaguicidas.

Son diversos los factores que influyen sobre el destino y transporte de los plaguicidas que pueden incrementar o disminuir la posibilidad de exposición a ellos y, por lo tanto, incidir en el riesgo o la facilidad de adsorción, entre los más importantes se encuentran: la temperatura, el pH y la solubilidad en el agua.

En el mundo se usan más de 1000 plaguicidas y cada uno tiene propiedades físico-químicas que determinan su comportamiento en el ambiente y sus efectos en la salud de los organismos vivos (**Figura 5-5**).

## Efectos de los plaguicidas en los organismos acuáticos

Los efectos de estas sustancias sobre los organismos son variables a corto o largo plazo, así como su bioacumulación o biomagnificación a través de la cadena alimenticia (**Figura 5-6**). Muchos de estos efectos crónicos (no letales) pasan con frecuencia desapercibidos al observador superficial y pueden tener consecuencias en toda la cadena trófica (**figuras 5-7 y 5-8**).



**Figura 5-6.** Algunos efectos de los plaguicidas en organismos acuáticos.



**Figura 5-7.** Rana con polimelia (extremidades extra) Lajmanovich et al. 2012.



**Figura 5-8.** Mortandad en peces.

## Legislación internacional para plaguicidas

Para proteger la salud de las personas, el *Codex alimentarius* (que en latín significa ley o código de alimentos) es un código emitido por la FAO, donde establece normas para más de 100 plaguicidas; además, la mayoría de los países han establecido por ley límites máximos de presencia de residuos de plaguicidas en suelo, agua y alimentos. Cuando estos límites difieren entre los distintos países, pueden plantearse dificultades comerciales, es por ello que el Comité del Codex sobre Residuos de Plaguicidas (CCPR) de la FAO es el encargado de establecer los límites máximos de residuos (LMR) (OMS, 2022).

Para informar al usuario el riesgo que conlleva el uso de un plaguicida en específico, la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que los envases deben contener una ficha técnica donde se indique el grado de toxicidad clasificado por categorías de la I a la V, bandas de color, símbolos y palabras de advertencia, entre otros (**Figura 5-9**).




Categoría	Señalamientos	Símbolo de peligro	Color de banda
I	<b>I a: Sumamente peligroso</b> <b>I b: Muy peligroso</b> Palabras de advertencia "Muy tóxico", "tóxico", "peligro", "mortal en caso de ingestión" o "Mortal por el contacto con la piel". Carcinógeno para humanos		Rojo
II	<b>Moderadamente peligroso</b> Palabra de advertencia "Nocivo" "peligro", "mortal en caso de ingestión" o "Mortal por el contacto con la piel". Posiblemente carcinógeno para humanos		Amarillo
III	<b>Poco peligroso</b> Palabra de advertencia "Cuidado" Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación. No clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para los humanos.		Azul
IV y V	<b>Normalmente no representa peligro/ Poco probable que presente un peligro agudo</b> Palabra de advertencia "Cuidado"		Verde

Figura 5-9. Especificaciones que debe contener la ficha técnica de cada plaguicida según su grado de toxicidad (OMS, 2019).

## Legislación nacional para plaguicidas

En México, los plaguicidas son objeto de vigilancia por parte de diversas dependencias del Gobierno Federal, con el propósito de garantizar al usuario su calidad, efectividad y, dada su naturaleza tóxica, para prevenir los riesgos a la salud pública (OMS, 2019). Existen varias Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que hablan sobre el manejo y cuidado de sustancias químicas que pueden ocasionar daño al ambiente y la salud, tal como la NOM- 232-SSA1-2009 y la NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017 (Figura 5-10) (Agency, 2021; NOM, 2009).

LEGISLACIÓN NACIONAL Norma oficial Mexicana	
<b>NOM-232-SSA1-2009</b>	<b>NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017</b>
Establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos de grado técnico, usados en la agricultura, la actividad forestal, la jardinería, el urbanismo, en las actividades industriales y en el área doméstica.	Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión como un complemento para la obtención de información al respecto de este tema.
Elaboración propia a partir de NOM- 232-SSA1-2009 y la NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017	

Figura 5-10. Legislación nacional en materia de plaguicidas.

## Daño de los plaguicidas en ambientes acuáticos mexicanos

El sistema costero mexicano es un ejemplo de los ecosistemas acuáticos que se han visto afectados, en los últimos años, por la presencia de plaguicidas detectados en diversas especies acuáticas del país, entre ellos la tortuga carey y la tortuga verde, especies clasificadas en peligro de extinción, de acuerdo con la NOM-59-SEMARNAT-2010, y en diversas especies acuáticas de importancia pesquera para consumo humano localizadas en el Pacífico y el Golfo de México (Tabla 5-3).

Tabla 5-3. Plaguicidas detectados en especies acuáticas del Golfo de México y del Pacífico Mexicano.

Zona del país	Especies	Plaguicidas detectados
Campeche	<b>Tortuga carey</b> <i>Eretmochelys imbricata</i>	<b>Sangre:</b> Lindano*, Aldrín, Endrín, DDT**, DDE, DDD, Endosulfán, Sulfato de Endosulfán, Epóxido de Heptacloro <b>Huevos:</b> $\alpha$ -HCH, $\beta$ -HCH, $\delta$ -HCH, Endrín aldehído, DDT*, DDE, DDD, Endosulfán, epóxido de heptacloro
	<b>Tortuga verde</b> <i>Chelonia mydas</i>	<b>Sangre:</b> $\alpha$ -HCH, Lindano*, $\delta$ -HCH, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Endrín aldehído, DDT** DDE, DDD, Heptacloro, epóxido de heptacloro. <b>Huevos:</b> $\alpha$ -HCH, Lindano*, $\delta$ -HCH, Aldrín, Endrín, DDT*, DDE, DDD, Endosulfán, epóxido de heptacloro.
	<b>Especies de consumo</b>	
<b>Pacífico mexicano</b> Nayarit Jalisco Sonora Chiapas Baja C. Sur	osti3n del mangle, almejas, mejill3n, camar3n azul, jaiba, lisa, sierra, pargos, lenguados, r3balo.	$\alpha$ -HCH $\beta$ -HCH, Lindano* $\delta$ -HCH Aldrín Dieldrín Endrín
<b>Golfo de M3xico</b> Veracruz Tabasco Campeche Quintana Roo	osti3n, almeja, mojarra, mojarra blanca, s3balo, r3balo, liseta, jurel, pejelagarto, bagre, bagre maya.	Endrín aldehído, DDT**, DDE, DDD Endosulfán, sulfato de endosulfán, Heptacloro Epóxido de heptacloro

\*Lindano: pertenece al grupo 1 de acuerdo con la IARC, ya que es carcinog3nico para humanos y est3 asociado al linfoma no Hodgkin.

\*\*DDT: uso permitido bajo condiciones espec3ficas de acuerdo con el Convenio de Estocolmo. En rojo est3n aquellos plaguicidas prohibidos que deben eliminarse en los pa3ses participantes en el Convenio de Estocolmo.

**Fuentes:** Ponce-V3lez y Botello, 2018; Lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos PAN Internacional, 2021.

## ***¿Qué acciones puedo tomar?***

### **Respecto al manejo de los plaguicidas y residuos**

Por tu salud, siempre lee las instrucciones del envase.

Para prevenir la contaminación de las fuentes de agua a través del escurrimiento o penetración en alcantarillas, arroyos u otras masas de agua:

- Evita la aplicación inmediatamente antes del riego o de una lluvia, a menos que las etiquetas de modo de empleo indiquen que se requiere irrigar justo después de la aplicación.
- Evita la aplicación en superficies duras tales como aceras, entradas para autos y cimientos, ya que pueden escurrirse fácilmente e ir a parar a las alcantarillas.

La mala disposición y manejo de los envases de plaguicidas es una problemática importante que representa una fuente de contaminación constante hacia los ecosistemas acuáticos. Para evitar el derrame de residuos, es necesario aplicar el triple lavado como lo indica la página del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), perforar los envases para evitar que sean reutilizados y llevarlos a los centros de acopio.

<https://www.gob.mx/senasica/articulos/conservemos-un-campo-limpio-41699?idiom=es>

Adicionalmente:

- Evalúa si realmente es necesario utilizar un plaguicida de categoría 1 o 2 en vez de los de categoría 4 o 5.

## Actividades de aprendizaje

1. Ve a la sección de este capítulo *¿Qué acciones puedo tomar?* y lee cómo se deben manejar los residuos de los plaguicidas y sus contenedores, cuando termines haz un diagrama de lo que leíste.
2. Investiga qué impacto tuvo en la sociedad y en las regulaciones de plaguicidas el libro *La primavera silenciosa*, escrita por Rachel Carson en 1962.
3. Investiga qué es el Convenio de Estocolmo y como involucra a México.
4. Entra al siguiente enlace <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Plaguicidas-Final-14-agst-2017sin-portada.pdf>, busca en el Anexo 2 (página 344) en cuántos países está prohibido el DDT y el paratión metílico, después busca su ficha técnica en internet e identifica a qué color de banda, grupo químico y categoría de toxicidad pertenecen.
5. Haz una lista de los principales efectos tóxicos en animales acuáticos y humanos de cada grupo químico mencionado en este capítulo.
6. Si deseas conocer más sobre los efectos, riesgos y propiedades de los plaguicidas, te sugerimos entrar a la Nacional Pesticide Information Center (NPIC): <http://npic.orst.edu/ingred/cheminfo.html>

## Referencias

- Agency, E. E. (2021). *Chemicals Evaluated for Carcinogenic Potential by the Office of Pesticide Programs*. Washington: [http://npic.orst.edu/chemicals\\_evaluated.pdf](http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf).
- Botello, A., Rendón, J. B., & G, G.-B. (2014). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. uac, unam-icmyl, Cinvestav Unidad Mérida.
- Carvalho, F. (1993). *Plaguicidas en los medios marinos tropicales: Evaluación de su destino final*. *Boletín del OIEA 2*. Medellín.
- FAO (2019). *Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas-Directrices sobre los Plaguicidas Altamente Peligrosos*. Roma: <https://www.fao.org/3/i5566es/i5566es.pdf>.
- FCEA, Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental (2007). *Contaminación del agua por plaguicidas*. México: <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-plaguicidas/>

- Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: LIMUSA.
- Lajmanovich, R. C., Peltzer, P. M., Attademo, A. M., Cabagna-Zenklusen, M. C., & Junges, C. M. (2012). "Los agroquímicos y su impacto en los anfibios: un dilema de difícil solución." *Química Viva*, Vol. 11, núm.3, pp.184-198 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090004>
- Lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos de PAN Internacional (2021). © PAN Internacional c/o PAN Alemania, Nernstweg 32, 22765 Hamburgo, Alemania.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2009). NOM-232-SSA1-2009. *Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico*. México: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4020/salud/salud.htm>.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2019). *Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662>
- OMS (2022). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. México: Organización Mundial de la salud.
- Ongley, E. D. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Canadá: <https://www.fao.org/3/W2598S/w2598s06.htm#factores%20que%20influyen%20en%20la%20toxicidad%20de%20los%20plaguicidas%20en%20los%20sistemas%20acu&aac>.
- OPS, D. s. (2002). *La salud en las Américas*. Organización Mundial de la salud: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/Salud-Americas-2002-Vol-1.pdf>.
- Ponce-Vélez, G. y Botello, A. V. (2018). *Plaguicidas organoclorados en organismos costeros y marinos de los litorales mexicanos: una revisión*. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (Especial sobre Contaminación y Toxicología por Plaguicidas II) 81-98, 2018  
DOI: 10.20937/RICA.2018.34.esp02.07
- Ramírez J.A; Lacasaña M. (2001). Plaguicidas: Clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor* 2001; 4(2): 67-75.
- Valdez, B., & García, S. M. (2000). *Impact of pesticides use on human health in México: a review*. *Reviews on Enviromental Health*. OMS: Organización Mundial de la Salud.



# Capítulo 6

## Contaminación acuática por nutrientes



# Contaminación acuática por nutrientes

## ¿Qué son?

La contaminación por nutrientes es el proceso en el que éstos se añaden en demasía, principalmente nitrógeno y fósforo, a los cuerpos de agua y pueden actuar como fertilizantes, provocando un crecimiento excesivo de algas.



## ¿Cómo actúan?

La contaminación por nutrientes o eutrofización designa un proceso de acumulación de nutrientes en un ecosistema dado. Este fenómeno que afecta principalmente al nitrógeno y al fósforo, provoca una modificación gradual del equilibrio biológico del ecosistema.

## Nutrientes involucrados

- Nitrógeno
- Nitrato
- Nitrito
- Amoniaco
- Fósforo



## ¿Cómo se clasifican?

De acuerdo con la cantidad de nutrientes que contengan los cuerpos de agua se clasifican en:

- Oligotróficos
- Eutróficos
- Mesotróficos
- Hipertróficos



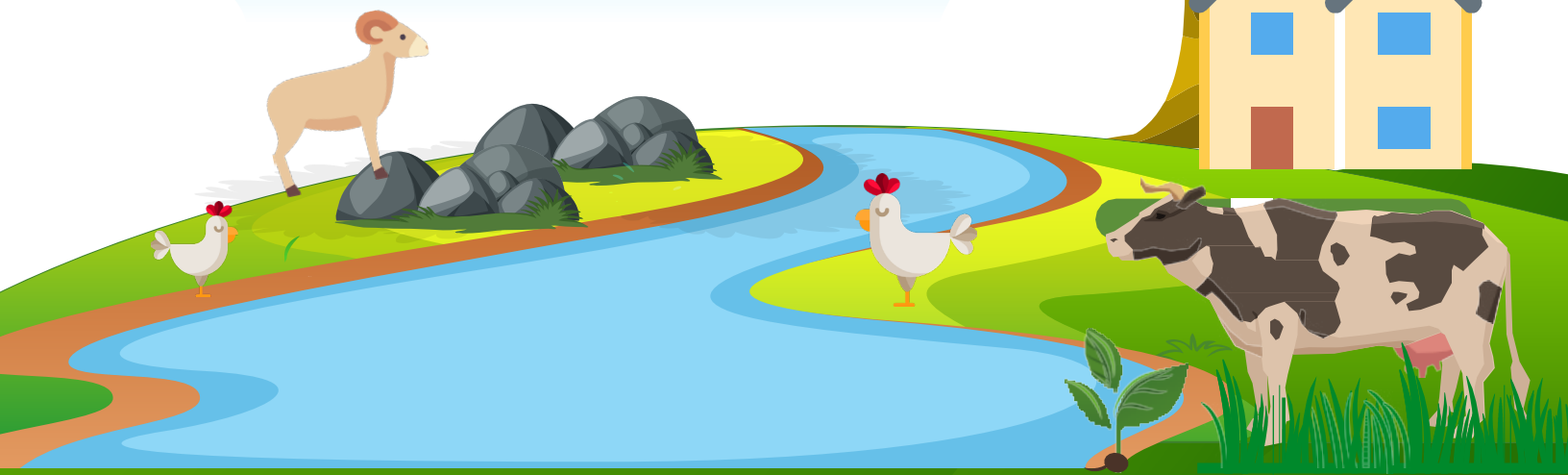
## Fuentes de nutrientes

Las principales fuentes de nutrientes son aquellos relacionados con las actividades humanas como la ganadería, la agricultura, la industria, los residuos domésticos y la contaminación atmosférica.



## ¿Cómo llegan al ambiente?

En algunos casos, la contaminación por nutrientes es el resultado de procesos naturales, como la erosión de las rocas y la mezcla de las corrientes oceánicas. Sin embargo, las causas más comunes se deben a actividades humanas, como la erosión del suelo por la agricultura, la escorrentía de agua de lluvia en las ciudades y las actividades diarias en las fábricas.



## ¿Cómo afectan?

Un exceso de nitrógeno y fósforo hace que las algas crezcan más rápido de lo que el ecosistema puede manejar, lo que resulta en el crecimiento de la proliferación de algas. Estas algas producen toxinas que son dañinas para los peces y otras formas de vida acuática.

## ¿Quién los regula?

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana del Agua para uso y consumo humano NOM-127-SSA1-2021, existen límites permisibles de la calidad del agua respecto al nitrato, nitrito y amonio.



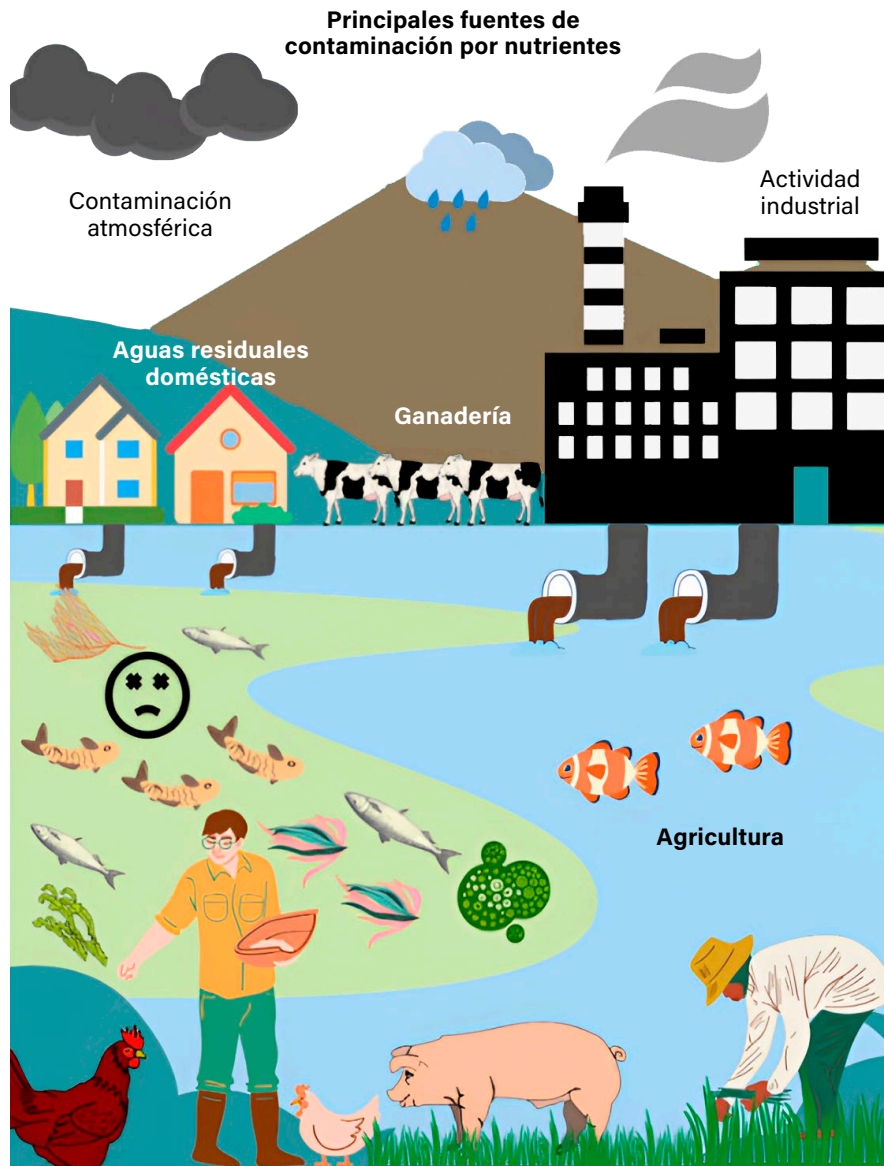
## ¿Cómo podemos actuar?

- Usa jabones, detergentes y agentes de limpieza de uso doméstico sin fosfato.
- Recoge los desperdicios de tu mascota.
- Conduce menos.
- Planta árboles y otras plantas nativas.



## Nutrientes y su impacto

La contaminación por nutrientes es uno de los problemas ambientales más extendidos, costosos y complejos (Laws, 2013) que desafortunadamente puede poner en riesgo la salud de muchos seres vivos. Las principales fuentes de nutrientes son aquellos relacionados con las actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la industria, los residuos domésticos y la contaminación atmosférica (**Figura 6-1**).



**Figura 6-1.** Fuentes de contaminación por nutrientes (elaboración propia).

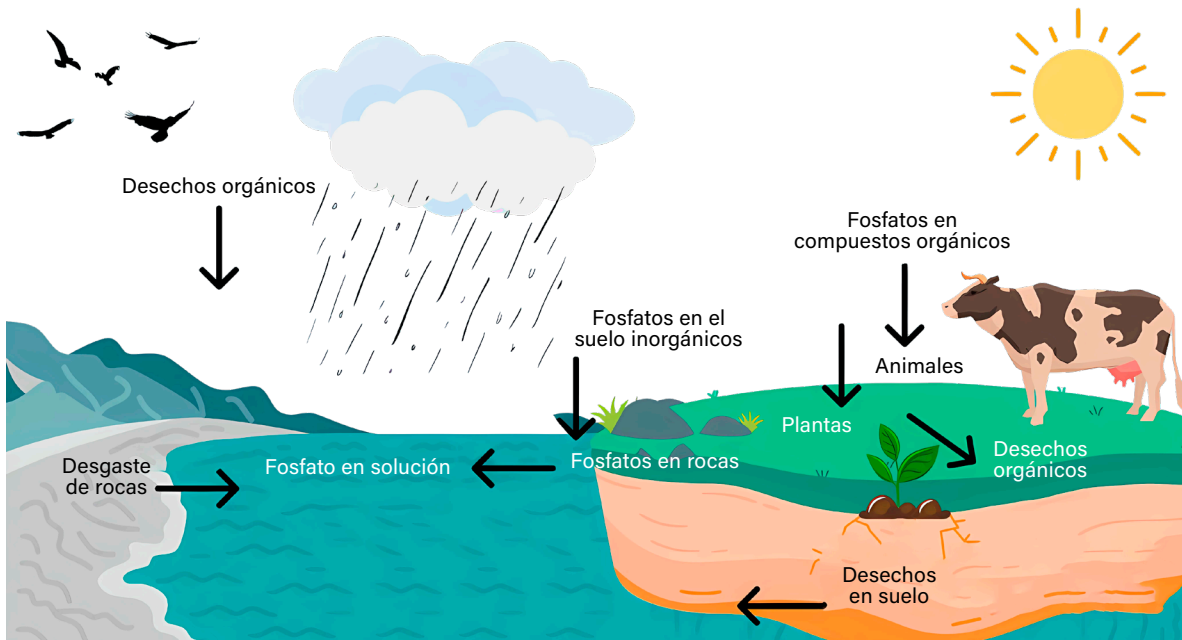
Estas actividades incrementan el flujo de nutrientes orgánicos e inorgánicos en ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos costeros (Severiche y Gonzáles, 2012).

## ¿Cuáles son los principales nutrientes?

Tanto el fósforo (P) como el nitrógeno (N) se encuentran presentes en los ecosistemas acuáticos de manera natural y son esenciales para el desarrollo o crecimiento de muchos organismos, propiciando el crecimiento de algas y plantas acuáticas que brindan comida y un hábitat a peces, moluscos y organismos más pequeños que viven en el agua (EPA, 2022); sin embargo, las actividades humanas han incrementado exponencialmente su concentración en tiempos muy cortos, por lo que ahora en algunas zonas actúan como contaminantes.

## ¿Cuáles son las fuentes del fósforo?

Entre las fuentes naturales de fósforo (P) están los depósitos y rocas fosfóricas, las cuales desprenden fósforo, en forma de orto fosfato al erosionarse. Las fuentes antropogénicas puntuales incluyen las aguas residuales domésticas e industriales; las fuentes no puntuales están asociadas con la escorrentía de áreas agrícolas y domésticas (**Figura 6-2**).



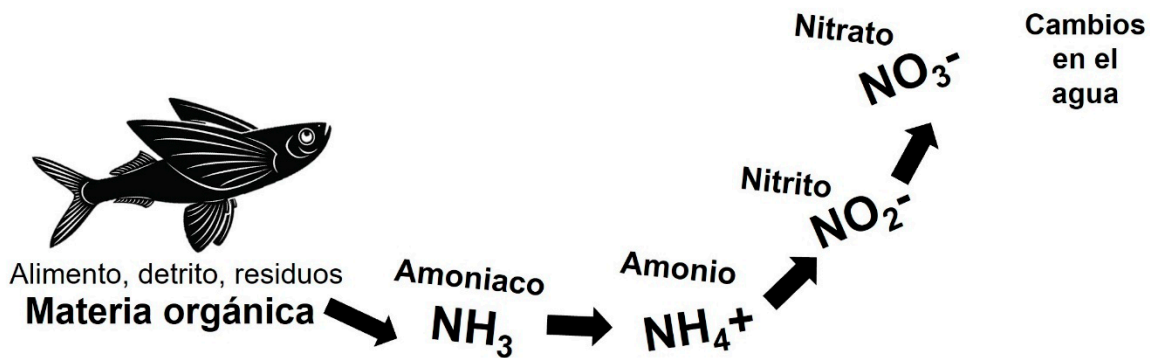
**Figura 6-2.** Fuentes de fósforo al medio acuático. Elaborado por Chavacán-Ávila, 2023.

Una fracción del fósforo en los fertilizantes orgánicos e inorgánicos es removida parcialmente por las plantas, otra fracción es arrastrada por el agua y el resto se acumula en el suelo, trayendo como consecuencia la presencia de cantidades elevadas de este elemento en ríos y lagos (**Figura 6-2**) (Severiche y Gonzáles, 2012), promoviendo el crecimiento excesivo de algas y otros microorganismos.

## ¿Cuáles son las fuentes del nitrógeno?

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila en los vegetales (Perdomo y Barbazán, 2001).

En aguas naturales y aguas residuales, las formas de nitrógeno de mayor interés son, en orden decreciente de estado de oxidación, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrógeno orgánico (aminas y amidas), todas estas formas de nitrógeno, así como el nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ), están sujetas bioquímicamente a cambios y son componentes del ciclo del nitrógeno (**Figura 6-3**).



**Figura 6-3.** Cambios de las formas de nitrógeno en el agua. Elaborado por: Gómez-Maldonado, 2023.

Si bien es cierto que estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles, principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos.

## Nitrato y nitrito

En aguas naturales, el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) generalmente se convierte a nitrato fácilmente ( $\text{NO}_3^-$ ), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas (Bolaños *et al.*, 2017); sin embargo, la presencia de ciertas concentraciones son un indicador importante de la calidad del agua (Ambientum, 2022). Ambos son formas oxidadas del nitrógeno y su importancia en cuerpos de agua se debe a que es asimilable por las algas, por lo tanto, en grandes cantidades induce la hiperfertilización, ello conduce a la proliferación de grandes cantidades de malezas acuáticas (Montelongo, 2008). Sus características principales se resumen en la **Tabla 6-1**.

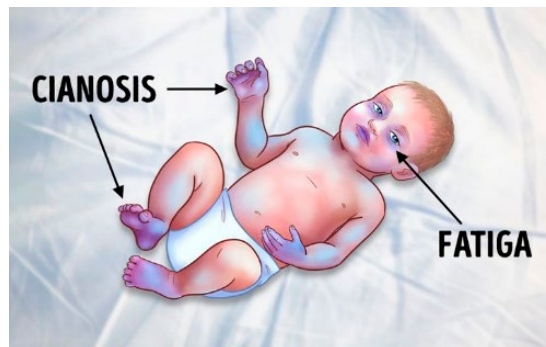
**Tabla 6-1.** Similitudes y diferencias entre las fuentes del nitrato y el nitrito.

	<b>Nitrato NO<sub>3</sub>-</b>	<b>Nitrito NO<sub>2</sub>-</b>
<b>Indicadores de contaminación</b>	Altas concentraciones es un indicador de contaminación de origen humano (Acurio y Arciniegas, 2015).	Su presencia suele ser indicativo de contaminación fecal reciente. (Metcalf y Eddy, 1998).
<b>Fuente natural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oxidación de los nitritos.</li> <li>▪ A través de óxido de nitrógeno que se genera de las descargas eléctricas de las tormentas (Acurio y Arciniegas, 2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se forman por la reducción bacteriana del nitrato (García <i>et al.</i>, 1994) o por la oxidación del amoníaco.</li> <li>▪ Mineralización de la materia orgánica (Acurio y Arciniegas, 2015).</li> </ul>
	Excretas de animales silvestres (Pacheco <i>et al.</i> , 2003).	
<b>Fuente antropogénica</b>	Materia fecal doméstica o ganadera, desechos de transporte e industriales nitrogenados, lixiviación de vertederos, residuos de fertilizantes químicos (Pacheco <i>et al.</i> , 2003; Bolaños <i>et al.</i> , 2017).	
<b>Concentración en aguas superficiales o subterráneas</b>	Su concentración en aguas superficiales y subterráneas es generalmente menos de 4 mg/L (OMS, 2009).	En aguas superficiales, bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0.1 mg/L y raramente se encuentran en aguas subterráneas (Bolaños <i>et al.</i> , 2017).
<b>Toxicidad en peces</b>	Valores > 80 mg/L son considerados tóxicos (OMS, 2009).	> 0.75 mg/L puede ocasionar estrés. > 5 mg/L es considerado tóxico (Acurio y Arciniegas, 2015).
<b>Toxicidad en niños</b>	Valores > 45 mg/L (Ambientum, 2022; ATSDR, 2016).	Valores > 1 mg/L (ATSDR, 2016).

## ¿Por qué es importante controlar la concentración de nitritos y nitratos en el agua?

El consumo de aguas contaminadas por nitratos y nitritos son perjudiciales para la salud, debido a que, por la acción de bacterias intestinales, pueden formarse nitrosaminas que por su potencial cancerígeno resultan peligrosas para el ser humano (De Miguel-Fernández y Vázquez-Taset, 2006).

Asimismo, deben ser controlados en aguas naturales y en especial en agua potable, principalmente, porque niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia (ATSDR, 2015; De Miguel-Fernández *et al.*, 2006), un padecimiento conocido como “la enfermedad de los bebés azules” (**Figura 6-4**), ya que los bebés de hasta seis meses son los más vulnerables cuando ingieren agua con exceso de nitrato, provocando cianosis y en algunas ocasiones la muerte.



**Figura 6-4.** Una de las manifestaciones clínicas de la metahemoglobinemia es la cianosis, coloración azul que se adquiere por una falta deficiente de oxígeno.

Por esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) incluye a los nitratos entre los componentes del agua que pueden ser nocivos para la salud.

## Amoniaco y amonio

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica; junto con el nitrato, son las formas más comunes de nitrógeno en sistemas acuáticos; si el medio es aerobio, las bacterias pueden convertir el amoniaco en nitrito y nitrato para ser usado por plantas y microorganismos (U.S. EPA, 2000). Las características principales entre el amoniaco y el amonio se resumen en la **Tabla 6-2**. La suma de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4^+$  constituye el amoniaco que se mide analíticamente en el agua.



**Tabla 6-2.** Principales características del amoniaco y el amonio.

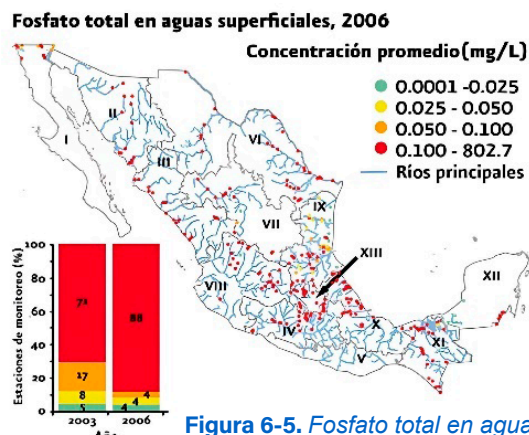
	<b>Amoniaco NH<sub>3</sub></b>	<b>Amonio NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
<b>Características</b> (EPA, California) (PROFEPA, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Su fórmula química es NH<sub>3</sub> en su estado sin ionizar.</li> <li>▪ No dura mucho tiempo en el ambiente y no es <b>bioacumulable</b>.</li> </ul>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> es la forma ionizada del amoniaco, conocida como amonio.
<b>Indicador de contaminación</b> (Sardiñas-Peña y Pérez-Cabrera, 2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indicador de contaminación reciente y peligrosa.</li> <li>▪ Indica degradación incompleta de materia orgánica.</li> </ul>	Su presencia en cantidades elevadas es un indicador de contaminación reciente y peligrosa.
<b>Fuente natural</b> (EPA, California)	El nitrógeno amoniacal se origina de la degradación del nitrógeno orgánico. Los animales excretan amoniaco y los animales y plantas producen amoniaco en su descomposición para devolverlo en forma de nitrógeno al sistema acuático.	
<b>Fuente antropogénica</b> (PROFEPA, 2020)	Descargas de aguas residuales, domésticas, industriales, agrícolas que provienen de heces y descomposición orgánica.	
<b>Concentración en aguas superficiales o subterráneas</b> (Sardiñas-Peña y Pérez-Cabrera, 2004; Ambientum, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las aguas superficiales no deben contener amoniaco y, en aguas subterráneas, generalmente están en trazas.</li> <li>▪ En aguas meteóricas suelen encontrarse entre 0.1 y 2 mg/L.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se presentan en trazas en el agua subterránea.</li> <li>▪ Su concentración aumenta en medios fuertemente reductores (con bajo o nulo oxígeno disuelto).</li> </ul>
<b>Toxicidad</b> (EPA, California)	Extremadamente tóxico para los peces y la vida acuática.	Relativamente inocuo.

## Legislación nacional

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, "Agua para uso y consumo humano", los límites permisibles de la calidad del agua respecto a nitrato, nitrito y amonio se muestran en la **Tabla 6-3**.

**Tabla 6-3.** Límites máximos permitidos de nitrato, nitrito y amonio en México.

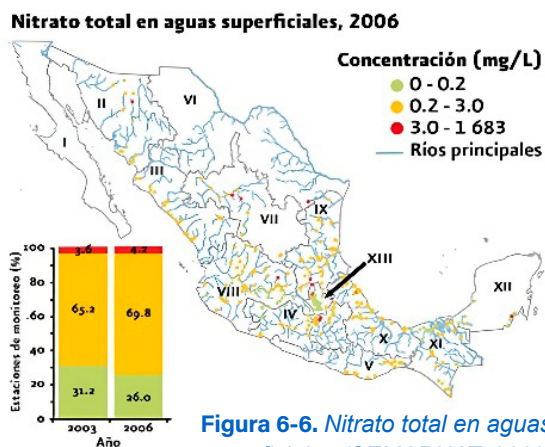
NOM- 127-SSA1- 2021	
Especie química	Concentración mg/L
Nitrato	11
Nitrito	0.90
Amonio	0.50



**Figura 6-5.** Fosfato total en aguas superficiales (SEMARNAT, 2009).

En 2006, aproximadamente en el 88 % de los sitios de monitoreo de las aguas superficiales del país, la concentración de fosfato fue superior a 0.1 mg/L, un nivel considerado como indicador de fuerte contaminación (**Figura 6-5**).

En ese mismo año (**Figura 6-6**), el 74 % de los sitios se consideraron contaminados al registrar concentraciones de nitratos superiores a los **0.2 mg/L** que es la concentración máxima para el consumo a largo plazo (SEMARNAT, 2009), con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en niños (WHO, 2004).



**Figura 6-6.** Nitrato total en aguas superficiales (SEMARNAT, 2009).

## ¿Qué es la eutrofización y por qué es tan peligrosa?



**Figura 6-7.** El crecimiento excesivo de algas puede ocasionar muerte por hipoxia o por la producción de toxinas letales para los peces y animales que consumen el agua.

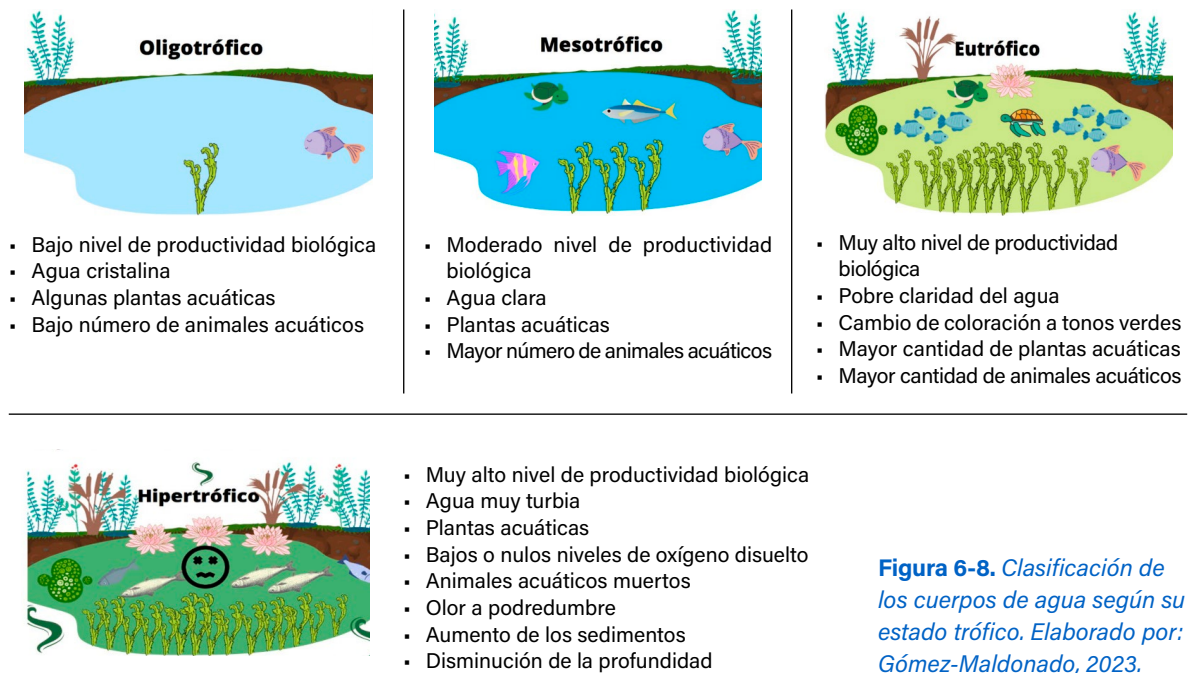
La eutrofización es la acumulación excesiva de nitrógeno y fósforo en los cuerpos acuáticos. La eutrofización en un ecosistema acuático puede producir una proliferación descontrolada de algas que provocan efectos adversos de las masas de aguas afectadas, como la muerte de organismos acuáticos por hipoxia o una producción elevada de toxinas y crecimiento bacteriano (**Figura 6-7**). Una persona podría enfermarse si entra en contacto o bebe agua contaminada, de igual forma si consume pescado o moluscos contaminados.

## ¿Cuáles son las causas de la eutrofización?

- **Agricultura.** A través de los fertilizantes de nitrógeno usados para abonar los cultivos que se filtran en la tierra, llegan a los ríos y aguas subterráneas.
- **Ganadería.** Los excrementos de los animales son ricos en nutrientes, principalmente en nitrógeno. Si no se gestionan de manera adecuada, contaminan las aguas cercanas.
- **Residuos urbanos.** Con residuos orgánicos e inorgánicos, como materia fecal y los detergentes con fosfatos.
- **Actividad industrial.** Mediante los vertidos de productos nitrogenados y fosfatados, entre otros muchos tóxicos.
- **Contaminación atmosférica.** Las emisiones de óxidos de nitrógeno producen lluvia ácida en la atmósfera que al caer arroja nutrientes a las aguas.
- **Actividad forestal.** Los residuos forestales que se abandonan en las aguas se degradan y aportan el nitrógeno y el resto de los nutrientes que la planta tenía de manera natural.

## Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo con la cantidad de nutrientes

En los lagos, la eutrofización ocurre como parte de un proceso natural de forma lenta y gradual, a lo largo de varios miles de años (EPA, 2022); sin embargo, el aporte de nutrientes derivados de las actividades antropogénicas acelera este proceso. Los cuerpos de agua se pueden clasificar según su cantidad de nutrientes y, por lo tanto, su productividad en los siguientes estados tróficos: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico. En la **Figura 6-8** se ilustran sus características principales.



## ¿Cómo se evalúan los estados tróficos del agua?

De acuerdo con la OCDE (1982), los parámetros que se toman en cuenta para evaluar el estado trófico de un cuerpo de agua se presentan en la **Tabla 6-4**.

**Tabla 6-4.** Parámetros de evaluación del estado trófico del agua OCDE (1982).

Estado trófico	Nitrógeno total mg/L	Fósforo total mg/L	Clorofila "a" mg/L	DS(m) Transparencia Disco Schecci
<b>Oligotróficos</b>	0.661	0.008	0.001 - 0.0025	6 - 12
<b>Mesotróficos</b>	0.753	0.026	0.0047	3 - 6
<b>Eutrófico</b>	1.875	0.084	0.0143	1.5 - 3
<b>Hipertrófico</b>		> 0.100	> 0.0750	< 1.5

Se considera:

- **Nitrógeno total**
- **Fósforo total**
- **Clorofila "a"** para determinar la biomasa planctónica presente
- **La profundidad en donde se deja de ver el disco de Schecci (Figura 6-9)** debido a la turbidez.



**Figura 6-9.** Uso del disco de Schecci.  
Crédito: Sancho, 2010.

En la **Figura 6-10**, podemos observar la coloración del agua de la zona producida por la clorofila de las microalgas; en el estudio de Oliva-Martínez *et al.* (2008) encontraron que la concentración de clorofila en el lago Tezozómoc, ubicado en la Ciudad de México, fue de 1.32 mg/L y dos especies de cianobacterias del género *Microcystis*: *M. cf. botrys* y *M. cf. flos-aquae*, ambas especies referidas como potencialmente tóxicas, algo característico de lagos hipertróficos.



**Figura 6-10.** La contaminación que presentan lagos urbanos como los de Chapultepec, Xochimilco, Aragón, Tezozómoc o de la Alameda Oriente es generada por visitantes que al tirar comida favorecen el crecimiento de algas y plantas acuáticas, y el agua se torna verde.  
Fuente: Red del agua (2015).

## Efectos de la contaminación por nutrientes en ambientes acuáticos en México

La **Tabla 6-5** presenta un breve resumen de los estudios que han evidenciado en México la existencia de una gran cantidad de lagos y lagunas con problemas de eutrofización.

**Tabla 6-5.** Algunos sitios donde se presenta el problema de la eutrofización en México.

Año	Lagos y lagunas afectadas	Problema	Autores
2022	Lagunas de Montebello, Chiapas	Eutrofización	Vargas-Sánchez <i>et al.</i> , 2022
2018	Río Verde, Jalisco Presa El Purgatorio y estación La Cuña	Eutrofización [x]Fosfato > 1 mg/L	Jayme-Torres & Hansen, 2018
2017	La Ciénega de Tláhuac, CDMX	Hipereutrofización	De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido <i>et al.</i> , 2019
2010	Lagunas costeras de la península de Yucatán: Celestún, Chelem, Dzilam, Río Lagartos, Holbox, Chacmochuk, Nichupte, Bojórquez, Ascensión y Chetumal	Eutrofización	Herrera-Silveira y Morales-Ojeda, 2010; Herrera-Silveira, 2006.
	Lagos de Xochimilco, CDMX	Eutrofización	López-López <i>et al.</i> , 2010
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lago de Tequesquitengo, Morelos</li> <li>▪ Lago de Pátzcuaro, Michoacán</li> <li>▪ Laguna de Cajititlán, Jalisco</li> <li>▪ Presa Zimapán, Hidalgo</li> </ul>	Eutrofización	Bravo-Inclán <i>et al.</i> , 2010
2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Noroeste 71 %, Balsas 60 %</li> <li>▪ Río Bravo 78 %, Cuencas centrales del Norte 53 %</li> <li>▪ Golfo Norte 59 %, Golfo Centro 68%</li> <li>▪ Frontera sur 88 %</li> </ul>	Eutrofización [x] Fosfato > a 0.1 mg/L	SEMARNAT, 2009
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Golfo Norte (59 %)</li> <li>▪ Golfo Centro (86 %).</li> </ul>	Eutrofización	SEMARNAT, 2009
	Lago Tezozómoc, CDMX	Hipereutrofización	Oliva-Martínez <i>et al.</i> , 2008
2001	Lago de Chapala, Jalisco	Eutrofización	De Anda <i>et al.</i> , 2001
1998	Presa Valle de Bravo, Estado de México	Eutrofización	Olvera-Viascán <i>et al.</i> , 1998
1995	Lago de Chapultepec, CDMX	Eutrofización	Alcocer y Lugo, 1995

## Actividades de aprendizaje

Lee los siguientes casos de estudio y resuelve las cuestiones basándote en las **tablas 6-3, 6-4** y la información de este capítulo:

**Caso 1.** En el estudio de Montelongo *et al.* (2008), reportaron que en una sección del Río Tula (**Figura 6-11**) los valores más altos del nitrógeno amoniacal, nitrato y nitrito fue de 64 mg/L, 6.24 mg/L y 1.304 mg/L.

- Verifica si los valores que menciona están dentro de los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-2021.
- Investiga por qué el Río Tula tiene esa coloración y por qué es bueno para la agricultura, pero malo para la salud humana.
- Identifica a qué nivel trófico corresponden estos valores.
- ¿Podría ser el Río Tula una fuente de abastecimiento para agua potable?



**Figura 6-11.** Tramo del Río Tula. Crédito: Carlos Sánchez y CulturandoMX.

**Caso 2.** De acuerdo con el estudio de Oliva Martínez *et al.* (2008), el lago Tezozómoc de CDMX tuvo una concentración de clorofila de 1.32 mg/L. Identifica a qué nivel trófico pertenece este valor.

Responde las siguientes preguntas

- ¿Qué indica que el agua esté verde y por qué no es recomendable beberla?
- ¿Por qué es importante que el agua potable cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas?

### ¿Qué acciones puedo tomar?

Lee y aplica las siguientes acciones diarias para ayudar a disminuir la contaminación por nutrientes.

#### En casa:

Usa jabones, detergentes y agentes de limpieza de uso doméstico sin fosfato, utiliza la cantidad justa de detergente: más no quiere decir mejor.

#### Desperdicios de las mascotas:

- Siempre recoge los desperdicios de su mascota.
- Evita pasear a su mascota cerca de arroyos u otras vías fluviales.
- Llévalos a pasear a lugares con pasto, parques o zonas no urbanizadas.
- Habla con los dueños de otras mascotas sobre por qué es importante recoger los desperdicios de las mascotas y aliéntalos a que lo hagan.

- Participa de un programa de marcado de desagües pluviales en su zona para concientizar acerca del destino de los desperdicios de las mascotas y otros productos transportados en la escorrentía cuando no se les desecha correctamente.

**Otros:**

- Planta árboles y otras plantas nativas: las plantas ayudan a reducir la escorrentía al absorber las aguas pluviales junto con el nitrógeno que a menudo las acompaña.
- Conduce menos: la quema de combustibles fósiles, incluida la gasolina de nuestros automóviles, libera compuestos que contienen nitrógeno y dióxido de carbono. Esta contaminación del aire regresa al suelo en forma de agua de lluvia y contamina los cuerpos de agua superficiales. Combinar los viajes en automóvil, compartir el automóvil y usar medios de transporte alternativos como el autobús o la bicicleta ayuda a reducir la contaminación del aire y del agua.
- No defecar dentro o cerca de los cuerpos de agua.

## Referencias

- Acurio, S. y Arciniegas, K. (2015). *Evaluación de la remoción de nitritos y nitratos en muestras de agua del río San Pedro Cantón Rumiñahui por Microalgas Clorofitas* (Doctoral dissertation, Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. p 1).
- Alcocer, D. J. y Lugo. (1995). The urban lakes of México City (Lago Viejo de Chapultepec). *Lakeline* 15 (2): 14:31.
- Ambientum (2022). *Determinación de los compuestos del nitrógeno*, Coruña, España. Consultado el 20 de septiembre 2023 en: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/determinacion\\_de\\_compuestos\\_del\\_nitrogeno.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_compuestos_del_nitrogeno.asp)
- ATSDR, Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Nitrato y Nitrito*. Departamento de salud pública y Servicios Humanos.
- Bolaños-Alfaro, J., Cordero-Castro, G., Segura-Araya, G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. Tecnología en Marcha. Vol. 30-4. Octubre-Diciembre 2017. Págs 15-27.
- Bravo-Inclán, L. A., Olvera-Viascán, V., Sánchez-Chávez, J. J., Saldaña-Fabela, P. and Tomasini-Ortiz, A. C. (2010). Trophic state assessment in warm-water tropical lakes and reservoirs of the central region of México. *Diffuse Pollution and Eutrophication. 14th International Conference, IWA Diffuse Pollution Specialist Group*.

- Camargo, J. & Alonso, A. (2007). *Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático*. Ecosistemas, 16(2).
- CONAGUA (2007). *Estadísticas del Agua en México*. México, 2007.
- CONAGUA (2008). *Estadísticas del Agua en México*. México, 2008.
- De Anda, J., Shear, H., Maniak, U. & Riedel, G. (2001). Phosphates in Lake Chapala, México, México. *Lakes and Reservoirs: and Management* 6:313-321.
- De la Lanza-Espino, G.; Hernández-Pulido, S. (2019). *Variación de la calidad del agua de La Ciénega de Tláhuac, México*. CIENCIA ergo-sum, [S.l.], v. 26, n. 3. ISSN 2395-8782.
- De Miguel-Fernández, C.; Vázquez-Taset, Y. M. (2006). *Origen de los nitratos (NO<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas* minería y geología. vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, pp. 1-9 Instituto Superior Minero Metalúrgico De Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" Holguín, Cuba.
- DOF (2021). NOM-127-SSA1-2021. *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*.
- EPA, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022). *Contaminación por nutrientes*. <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes#:~:text=La%20contaminación%20por%20nutrientes%20es,presentes%20en%20los%20ecosistemas%20acuáticos>
- EPA, California. (Environmental Protection Agency) Waterboards. Ca.gov. Folleto informativo State Water Resources Control Board.
- García, R. M., García, M. M. y Cañas, P. R. (1994). Nitratos, Nitritos y compuestos de N-nitroso. Centro panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Serie Vigilancia 13. pp. 19-27.
- Pacheco, J., Cabrera, A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas, Ingeniería, vol. 7, núm. 2, mayo-agosto, 2003, pp. 47-54, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. [https://www.researchgate.net/publication/237786993\\_Fuentes\\_principales\\_de\\_nitrogeno\\_de\\_nitratos\\_en\\_aguas\\_subterraneeas/link/544670660cf2f14fb80f3bd3/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/237786993_Fuentes_principales_de_nitrogeno_de_nitratos_en_aguas_subterraneeas/link/544670660cf2f14fb80f3bd3/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19)



- Herrera-Silveira, J. A. (2006). *Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo*. *Ecotrópicos* 19(2):94-108.
- Herrera-Silveira, J. A. y Morales-Ojeda, S. M. (2010). Subtropical Karstic Coastal Lagoon Assessment, Southeast Mexico. The Yucatan Peninsula Case. In: Kennish, M. J. & H. W. Paerl (Eds.). *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. C C Marine science series, CRC press, Boca Raton, FL, pp. 307-333.
- Jayme-Torres, G., Hansen, A.M. (2018). Nutrient loads in the river mouth of the Río Verde basin in Jalisco, Mexico: how to prevent eutrophication in the future reservoir? *Environ Sci*
- Laws, E. A. (Ed.). (2013). *Environmental Toxicology: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5764-0>
- López-López, E., J. E. Sedeño-Díaz, E. Ortiz-Ordóñez, Rosas-Colmenares, M. and Abeja-Pineda, O. (2010). Health condition assessment in lake Xochimilco (México). *Romanian Journal of Biology-Zoology* 55:69-81.
- Metcalf y Eddy (1998). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Montelongo, R., Gordillo, A. J., Otazo, E. M., Villagómez, J. R., Acevedo, O. A., & Prieto, F. (2008). *Modelación de la calidad del agua del Río Tula, Estado de Hidalgo, México*. *Dyna*, 75(154), 5-18.
- Moreno-Franco, D., Quintero-Manzano, J. y López-Cuevas, A. (2010). 'Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia', *Contacto S*. 78, pp. 25-33.
- OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1982). *The OCDE Listo Social Indicators*.
- Oliva-Martínez, M. G., Rodríguez-Rocha, A., Lugo-Vázquez, A., & Sánchez-Rodríguez, M. R. (2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica*, 18(1, Supl. 1), 1-13.
- Olvera-Viascán, V., Bravo-Inclán, L., Sánchez-Chávez, J. (1998). Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1(3-4):277-290.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2009). *Concentraciones de nitrógeno*.

- Pacheco-Ávila, J. G., Méndez-Novelo, R. I., Cabrera-Sansores, S. A., Castillo-Borges, E.R., Vázquez-Borges, E. R., Cabañas-Vargas, D. D. (2015). *Evaluación espacio temporal de la contaminación por nitratos del agua subterránea en Yucatán, México*. 2º Congreso Nacional AMICA 2015.
- Perdomo, C. y Barbazán, M. 2001. *Nitrógeno. Cátedra fertilidad, área de suelos y aguas*. Facultad de Agronomía. Universidad de la república. Montevideo, Uruguay. Revisado el 10 de septiembre 2022.
- PROFEPA, Procuraduría Federal de Protección y Medioambiente (2020). *Atención a emergencias químicas con presencia de amoníaco*. Consultado el 20 de septiembre de 2023 en: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/96898>
- Red del Agua (marzo 2015). Noticias Nacionales, Chapultepec, Xochimilco, Aragón, Lagos contaminados por los visitantes. Red del Agua UNAM: México. [https://www.agua.unam.mx/noticias/2015/nacionales/not\\_nac\\_marzo16\\_4.html](https://www.agua.unam.mx/noticias/2015/nacionales/not_nac_marzo16_4.html)
- Rodríguez, M. R. (2008). *Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico*. *Hidrobiológica*, 18(1, Supl. 1), 1-13. Recuperado en 01 de octubre de 2022.
- Sancho, V. (2010). *Adopta una charca. Guía Metodológica*.
- Sardiñas-Peña, O., & Pérez-Cabrera, A. (2004). *Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato*. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 42(2).
- SEMARNAT (2009). *Calidad del agua en cuerpos superficiales: fosfatos, nitratos y sólidos suspendidos*.
- Severiche, C. & Gonzáles, H. (2012). *Determinación de fosfatos en aguas por método colorimétrico. Validación del método*. *Chemistry Sciences*. 2. 28-32
- U.S. EPA, Environmental Protection Agency (2000). *Folleto informativo de tecnologías de las aguas residuales*. EPA Washington DC:832-F00-024, sept. 2000.
- Vargas-Sánchez, M., Alcocer, J., Oseguera, L. A. (2022). *Seston and eutrophication on a tropical karst lake district: Lagunas de Montebello, Chiapas, Mexico*. *Limnetica*, 41(2):1-1. doi: 10.23818/limn.41.16
- WHO (2004). *Guidelines for drinking water quality*. Vol. 1. 3a. ed. World Health Organization. Geneva. 2004. Contaminación acuática por microplásticos.

# Capítulo 7

## Contaminación acuática por microplásticos



# Microplásticos



## ¿Qué son?

Los microplásticos son cualquier partícula plástica sólida con una medida de 0.001 mm - 5 mm.

Se clasifican categorías dependiendo de su forma y origen.

## Clasificación por su origen:

### Primarios

Producidos desde su origen industrial con tamaños < 5 mm.

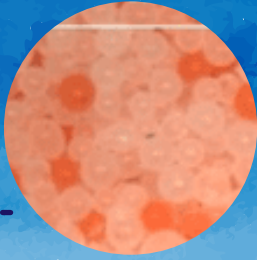
### Secundarios

Piezas plásticas derivadas de fracturas de macroplásticos por efecto de la dinámica acuática y exposición a factores ambientales.



## Clasificación por su forma

**Esferas**



**Pellets**



**Fibras**

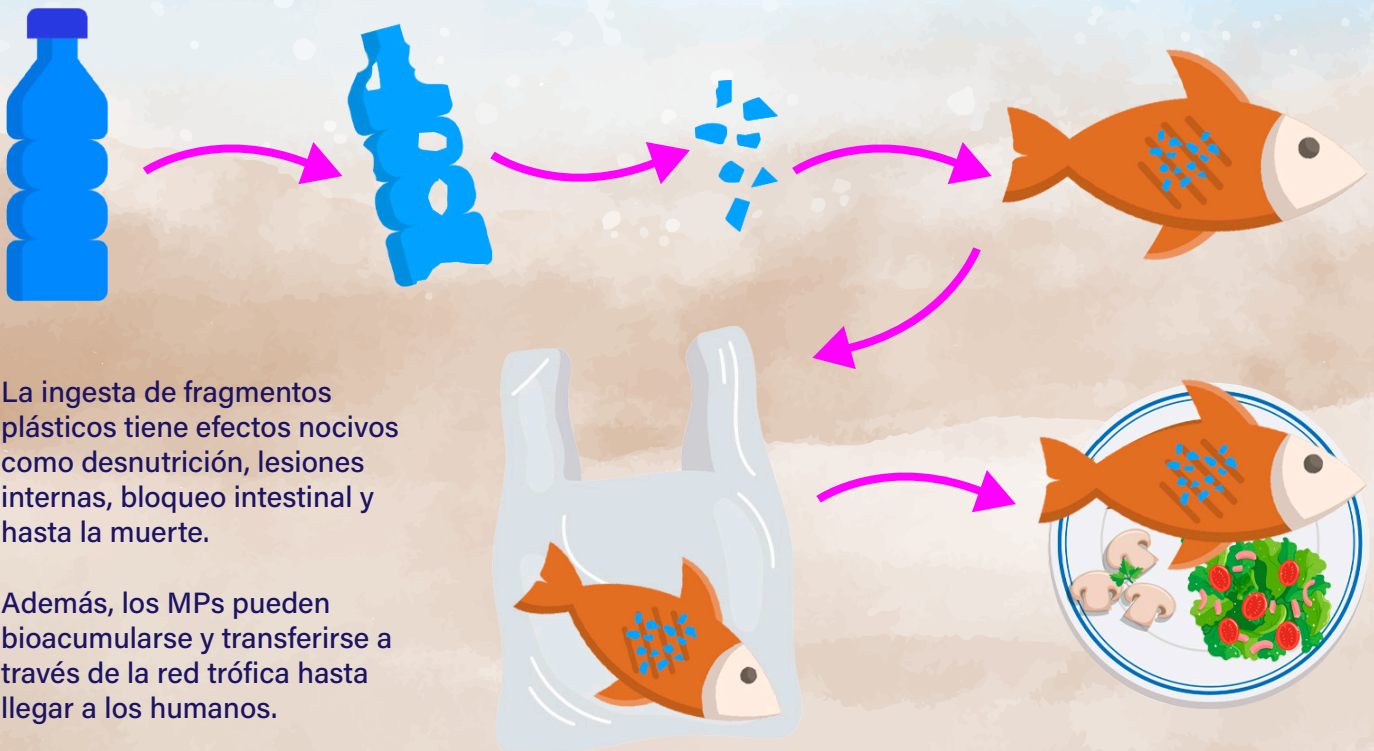


**Fragmentos**

**Películas**



## Efectos en la fauna acuática



## Generalidades de los microplásticos

El plástico es un material derivado del petróleo, su producción inició hacia 1950 y, en 2015, registró un aumento de 189 veces su producción original (Eriksen *et al.*, 2014; Plastics Europe, 2021).

Debido a la ligereza, durabilidad, flotabilidad, costo-beneficio y otras características, se ha consolidado como un material común en la vida diaria (Hammer *et al.*, 2012; ONU, 2018; Plastics Europe, 2021); sin embargo, estas mismas características, el uso excesivo y la acumulación han convertido a los plásticos en un agente de contaminación de distintos ambientes, lo cual ha llamado la atención del mundo entero (Hammer *et al.*, 2012; Anderson *et al.*, 2016; De Sá *et al.*, 2018).

Los materiales plásticos más utilizados en la creación de productos y algunos ejemplos son los siguientes (ONU, 2018; Rochman *et al.*, 2019; Peller *et al.*, 2020; Plastics Europe, 2021):

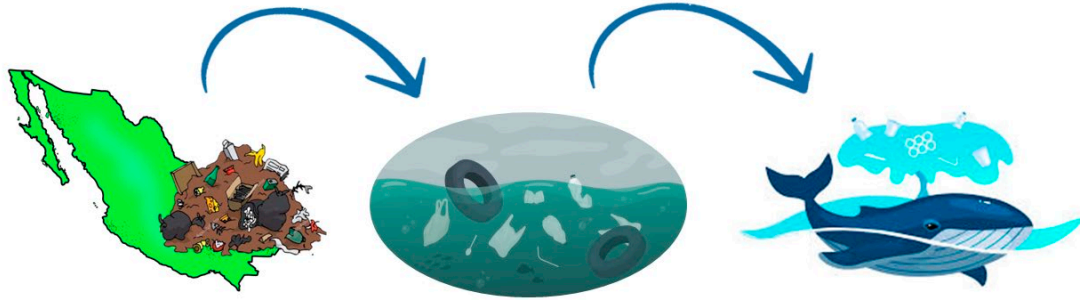
- **Polietileno, PET y PVC.** Botellas de detergente, botellas de bebidas, bolsas, plástico de burbujas, tubos de construcción, etc.
- **Polipropileno.** Popotes, tapas de botellas, envases de yogurt y mantequilla, ganchos, etc.
- **Poliestireno.** Envases de unicel.
- **Poliamidas y nylon.** Fibras y telas sintéticas.



**Figura 7-1.** La gran isla de plástico del Pacífico.

En las décadas de los setenta y ochenta, se pensaba que los desechos plásticos se quedaban sólo en zonas costeras (Mendenhall, 2018); sin embargo, a finales de los noventa, grandes concentraciones de plásticos fueron localizadas en la zona central del Pacífico norte, lo que hoy se conoce como *La Gran Isla del Pacífico* (**Figura 7-1**), la cual tiene una extensión de 1.6 millones de km<sup>2</sup> (Lebreton *et al.*, 2018), casi la extensión territorial de la República Mexicana (1.9 millones de km<sup>2</sup>) (INEGI, 2019).

De acuerdo con información publicada por la SEMARNAT en 2018, México produce 86 mil 343 toneladas de plástico al día, mientras que unos 10 millones de toneladas de plástico acaban en el mar como residuos. Se estima que para el 2050, los ecosistemas marinos tendrán más plásticos que peces (PNUMA, 2019) (**Figura 7-2**).



**Figura 7-2.** *Afectaciones del desecho de plásticos en los océanos (elaboración propia).*

Al estar en cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, zonas costeras o cualquier cuerpo de agua, los plásticos pueden ser ingeridos por los animales, causando daños irreparables como la muerte y su desaparición en ese ambiente, incluso algunos pueden acumular plásticos en su tejido y, al ser comidos por los humanos, éstos se pueden transferir a nuestro cuerpo.

## Clasificación

### Tamaño

Los plásticos se pueden clasificar de acuerdo con su tamaño (Masura *et al.*, 2015; Cowger *et al.*, 2020) (**Figura 7-3**):

- Macroplásticos (> 25 mm)
- Mesoplásticos (5 mm - 25 mm)
- Microplásticos (0.001 mm - 5 mm)
- Nanoplásticos (< 0.001 mm)

Enfocándonos específicamente en los microplásticos (MPs) podemos definirlos como cualquier partícula sólida sintética insoluble en agua con una medida de 0.001 mm - 5 mm, la cual puede clasificarse en dos categorías, dependiendo de su forma y su origen (Frías & Nash, 2019).



Figura 7-3. Clasificación de plásticos por su tamaño y formas de los microplásticos.

## Origen

### Microplásticos de origen primario



Figura 7-4. Pasta dental con microesferas.

Son plásticos fabricados con estas medidas para productos de uso cosmético o aplicaciones médicas; por ejemplo, microesferas dentro de jabones exfoliantes, microesferas en pastas dentales (**Figura 7-4**), diamantina en maquillajes, etc.

### Microplásticos de origen secundario



Figura 7-5. Popote fragmentado.

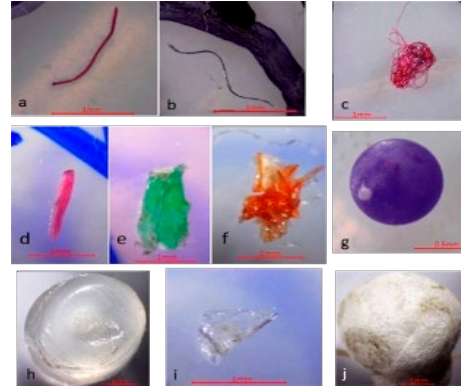
Fragmentos sólidos derivados de fracturas de plásticos de mayor proporción por efecto del arrastre, golpes y exposición al ambiente, como pedazos de botellas de plástico, popotes (**Figura 7-5**), bolsas, incluso fibras de ropa, entre otros.



## Forma

Asimismo, los microplásticos se clasifican de acuerdo con la morfología que presentan (**Figura 7-6**):

- Fibras (a, b y c)
- Fragmentos (d, e y f)
- Esferas (g)
- Pellets (h)
- Películas (i)
- Espumas / Esponjas (j)



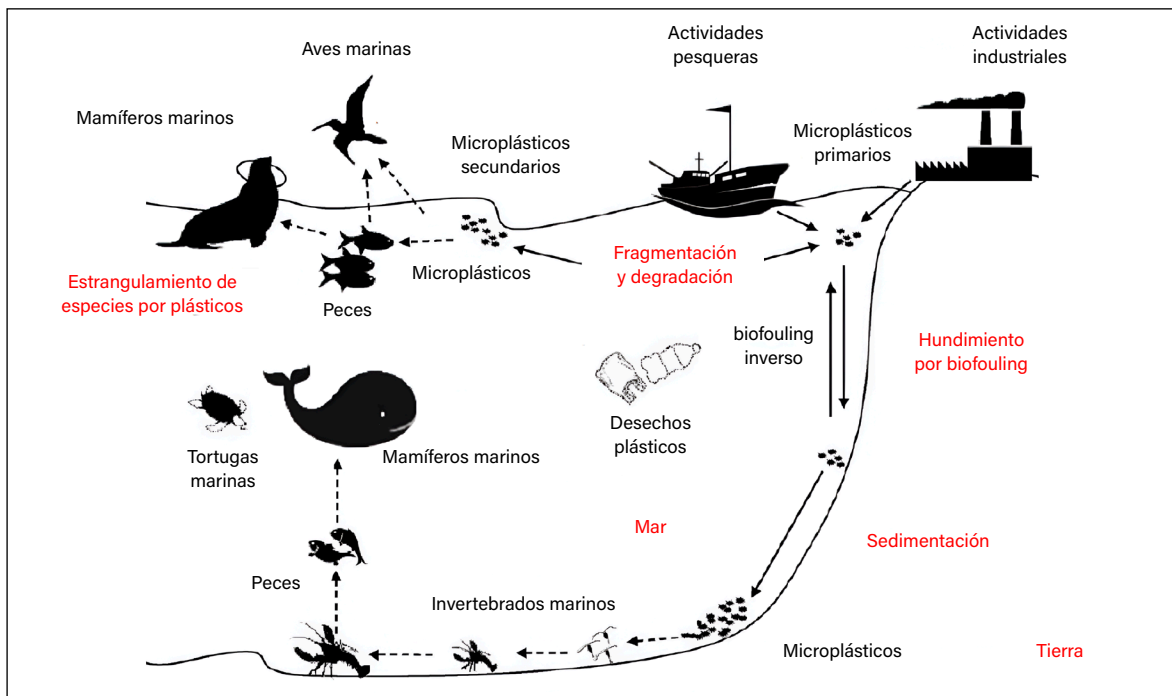
**Figura 7-6.** Clasificación de los microplásticos por su forma.

## Principales vías de acceso a los sistemas acuáticos

Las principales vías de acceso de los plásticos a los cuerpos de agua pueden presentarse a través de las siguientes fuentes (**Figura 7-7**):

**Contaminación directa**, por ejemplo, cuando se vierte agua residual proveniente de industrias, zonas urbanas o farmacéuticas sin un tratamiento previo (Barboza *et al.*, 2018; De Sá *et al.*, 2018). Asimismo, cuando tiramos basura directamente en los cuerpos de agua.

**Contaminación indirecta**, por efecto del arrastre de agua de lluvia o de los vientos que pueden llevar los residuos de los plásticos a los ríos, los cuales finalmente transportan toda la basura y residuos al mar (Barboza *et al.*, 2018).



**Figura 7-7.** Vías de ingreso y proceso de desintegración de los desechos plásticos y repercusiones en la fauna acuática (adaptada de Li *et al.*, 2016).

## Efectos sobre la fauna acuática

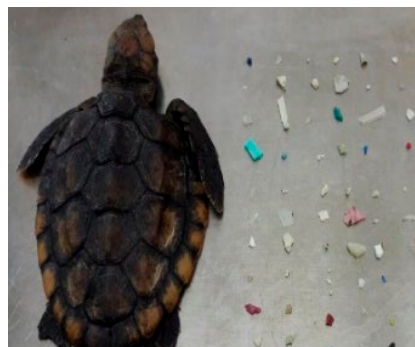
Debido al rango de tamaño que tienen los microplásticos, tienden a ser ingeridos en mayor cantidad en comparación con los macroplásticos, los cuales se ven vinculados principalmente en el enredo y asfixia de los organismos (Alomar *et al.*, 2016).

De acuerdo con McDermid y McMullen (2004), la ingestión directa de fragmentos plásticos puede tener efectos nocivos para los organismos que los ingieran (**Figura 7-8 y 7-9**), por ejemplo:

- Disminución en el consumo de alimentos al causar pseudo-saciedad
- Desnutrición
- Lesiones internas
- Bloqueo intestinal
- Inanición
- Muerte

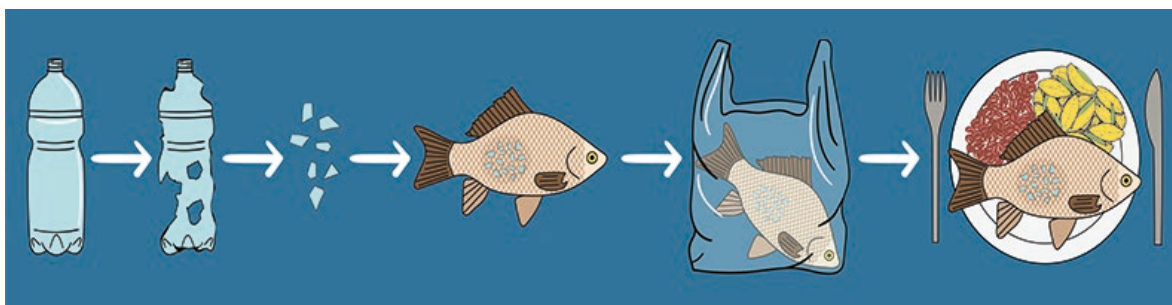


**Figura 7-8.** Pez con microplásticos en el estómago.



**Figura 7-9.** Tortuga con contenido estomacal de microplásticos.

Los MPs, además, pueden bioacumularse en los organismos y transferirse a través de la red trófica, es decir, los microplásticos pueden ser ingeridos por un pez, éste puede ser ingerido por un tiburón y los microplásticos que el pez llevaba en el estómago pasan directamente al tiburón. La bioacumulación incluso puede llegar a afectar a los humanos cuando ingerimos organismos que los contengan (**Figura 7-10**).



**Figura 7-10.** Transferencia de microplásticos al alimento humano (Gobierno vasco, 2021).

Así también, los microplásticos pueden transferir contaminantes químicos a los organismos a través de los aditivos añadidos, ocasionando intoxicaciones por colorantes, metales pesados o esmaltes; además de alteraciones endocrinas, que a su vez afectan la movilidad, la reproducción, el desarrollo, generan carcinogénesis y/o mutaciones (Barnes *et al.*, 2009; Cole *et al.*, 2011).

## ***¿Qué acciones puedo tomar?***

Algunas de las acciones que podemos llevar a cabo para evitar la dispersión de los plásticos y su consecuente fragmentación en microplásticos dentro de los ecosistemas acuáticos son:

- No emplees plásticos de un sólo uso (bolsas, botellas o recipientes desechables).
- Evita el consumo de productos empaquetados.
- Recicla y reutiliza productos plásticos que hayas adquirido.
- Evita el uso de productos cosméticos y de limpieza que contengan microplásticos.
- Para lavar tus trastes o bañarte adquiere esponjas de fibras naturales o vegetales.
- Utiliza prendas de telas naturales o lava tus prendas de telas sintéticas la menor cantidad de veces posible.

## **Actividades de aprendizaje**

Subraya las respuestas correctas

1. ¿Cuáles son las principales vías de entrada de los plásticos a los cuerpos de agua?
  - a. Descargas de agua residuales o domésticas
  - b. Contaminación directa
  - c. Por arrastre
  - d. Los plásticos nacen ahí mismo
  
2. ¿Qué daños pueden ocasionarle a los organismos acuáticos?
  - a. Asfixia
  - b. Mareos
  - c. Bloqueo intestinal
  - d. Muerte
  
3. ¿Cuál es el tamaño de los microplásticos?
  - a. 10 mm a 50 mm
  - b. 100 mm a 500 mm
  - c. 0.001 mm a 5 mm
  - d. 0.0001 mm a 0.5 mm

## 4. Relaciona las columnas

1. Microplásticos primarios	A. Microplásticos resultantes de la fragmentación de macroplásticos.
2. Ejemplos MPs primarios	B. Pedazos de bolsa, trozos de ropa, cachitos de botella.
3. Microplásticos secundarios	C. Microplásticos creados industrialmente con determinadas formas y tamaños.
4. Ejemplos de MPs secundarios	D. Microesferas para exfoliantes, diamantina y balinas para juegos.

## Referencias

- Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). *Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size*. *Marine Environmental Research*, 115, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>
- Anderson, J. C., Park, B. J., Palace, V. P. (2016). *Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems*. *Environ Pollut* 218:269-280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.074>
- Barboza, L. G. A., Vethaak, D. A., Lavorante, B. R. B. O. et al. (2018). *Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health*. *Mar Pollut Bull* 133:336-348. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 1985-1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). *Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks*. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179. DOI: 10.1021/es201811s
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cowger, W., Booth, A. M., Hamilton, B. M. et al. (2020). *Reporting guidelines for microplastic research*. Detailed Document Authors: How to use: Components to Report in All Procedures materials.

- De Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., *et al.* (2018). *Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future?* *Sci Total Environ* 645:1029-1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S. *et al.* (2014). *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea.* *PLoS One* 9:1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Frías, J. P. G. L., Nash, R. (2019). *Microplastics: Finding a consensus on the definition.* *Mar Pollut Bull* 138:145-147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Gobierno vasco (2021). Departamento de alimentación, desarrollo rural, agricultura y pesca. *Microplásticos: la contaminación invisible.* <https://www.euskadi.eus/entrada-blog/2021/microplasticos-la-contaminacion-invisible/web01-a2estadi/es/>
- Hammer, J., Kraak, M. & Parsons, J. (2012). *Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift.* *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* DOI: 10.1007/978-1-4614-3414-6\_1
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Extensión de México. <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T>
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F. *et al.* (2018). *Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic.* *Sci Rep* 8:1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Li, W. C., Tse, H. F., & Folk, L. (2016). *Plastics waste in the marine environment. A review of sources, occurrence and effects.* *Science of The Total Environment.* <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. (2015). *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.* NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48
- McDermid, K. J., & McMullen, T. L. (2004). *Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago.* *Marine Pollution Bulletin*, 48(7-8), 790-794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.10.017>
- Mendenhall, E. (2018). *Oceans of plastic: A research agenda to propel policy development.* *Mar Policy* 96:291-298. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.05.005>
- ONU (2018). *El estado de los plásticos; perspectiva del día mundial del medioambiente.*

Peller, J. R., Nelson, C. R., Babu, B. G. *et al.* (2020) *A Review of Microplastics in Freshwater Environments: Locations, Methods, and Pollution Loads*. ACS Symp Ser 1352:65-90. <https://doi.org/10.1021/bk-2020-1352.ch004>

Plastics Europe (2021). *Plastics the fact 2021*. Plast Eur Mark Res Gr Conversio Mark Strateg GmbH.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019), *Drowning in Plastic*, resumen ejecutivo. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36989/VITGRAPH\\_ES.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36989/VITGRAPH_ES.pdf)

Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J. *et al.* (2019) *Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite*. Environ Toxicol Chem 38:703-711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>

# Capítulo 8

## Contaminación acuática por contaminantes emergentes



# Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes (CE) son materiales o sustancias generalmente no monitoreadas en el ambiente, cuya presencia en los sistemas acuáticos ha pasado inadvertida y, por ende, sus posibles riesgos en la salud.

## ¿En qué productos se encuentran?

### Fármacos

Drogas prescritas, ilícitas y para ganadería.

### Cuidado personal

Cremas, fragancias, filtros solares, desinfectantes, detergentes.

### Productos industriales

Aditivos alimentarios, plaguicidas, retardantes de flama bromados, compuestos perfluorados (PFCs).

### Partículas

Nanopartículas (e.g. dióxido de titanio), microplásticos (pasta dental, exfoliantes).

## ¿Cuál es su importancia?

Son persistentes y bioacumulables

La mayoría de las PTAR no están diseñadas para eliminarlos

Los CE están presentes en las fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo

## ¿Cómo entran al ambiente?

Por fuentes de origen...



Doméstico

Descarga de aguas residuales no tratadas



Industrial



Descarga de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Agrícola y ganadero



Hospitalario

Se pueden encontrar en concentración muy baja en los sistemas acuáticos.

Recientemente se desarrollaron técnicas de detección y análisis de los CE.



Poco estudiados.

No se conocen todos los efectos.

Generalmente hay poca o nula regulación.

Cada día se generan nuevos posibles CE.



# ¿Cómo nos afectan los CE?

Debido a su alta solubilidad, persistencia, bioacumulación y biomagnificación, los CE pueden llegar a casi cualquier medio, afectando al ser humano y al ecosistema acuático...

## Contaminantes emergentes



## Afectan a los organismos acuáticos



Los CE llegan a nuestro cuerpo por el agua y alimentos

Causando

Causando

- Desbalance hormonal
- Intersexualidad (masculinización en hembras y viceversa)
- Infertilidad
- Carcinogénesis (cáncer)

## y a los seres humanos

- Cáncer
- Infertilidad
- Úlceras y sangrado en el estómago
- Afección en la lactancia
- Toxicidad gastrointestinal
- Disrupción endocrina
- Daños en el desarrollo neurológico
- Desbalance hormonal
- Afección de la tiroides



Los CE más abundantes y principales se encuentran en los productos farmacéuticos y de cuidado personal.

## Ejemplos de CE

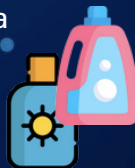
### Productos farmacéuticos

- Ibuprofeno
- Diclofenaco
- Carbamazepina
- Morfina
- Cafeína
- Hormonas
- Heroína
- Cocaína



### Cuidado personal

- Filtros UV químicos (octinoxato, octocrileno, oxibenzona, etc.)
- Benzofenona
- Parabenos
- BHT
- Triclosán



## ¿Cómo se eliminan los CE del agua?

Los métodos más eficientes que algunas PTAR aplican son:

- Ozonización
- Fotólisis
- Ósmosis inversa
- Fenton



## ¿Cómo podemos actuar?

- Aplica correctamente el bloqueador solar (30 min antes de entrar al agua) y evita usarlo en lagos y cenotes
- Desecha correctamente tus medicamentos
- Busca los centros de acopio y deposita los medicamentos que no vas a usar (<https://www.singrem.org.mx>)

## ... Y tú, ¿qué tipo de CE generas?



## Contaminantes emergentes

En las últimas décadas, el auge del progreso industrial y tecnológico ha traído consigo el desarrollo de multitud de materiales y compuestos que permiten mejorar los productos que usamos día con día; sin embargo, recientemente se ha descubierto que estos compuestos están en el ambiente y se desconoce el daño probable que puedan estar haciendo a los organismos y también al ser humano.

A estos compuestos se les llama *contaminantes emergentes* o *contaminantes de preocupación emergente* (**Figura 8-1**), son muy variados y están en la mayoría de los productos que usamos a diario como cremas, lociones, filtros solares, medicamentos, detergentes, desinfectantes, plaguicidas, entre muchos otros.



**Figura 8-1.** Ejemplo de contaminantes emergentes, tomada y modificada de Zubcob y Antoaneta, 2021.

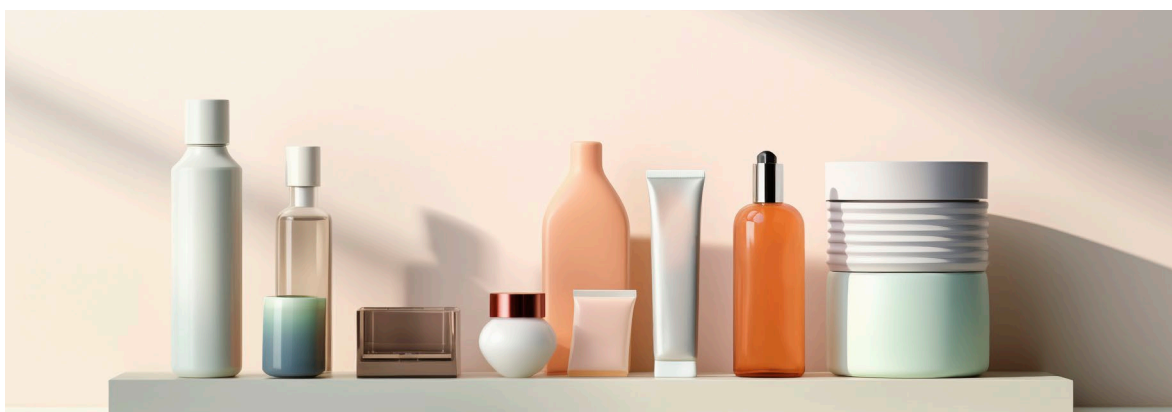
Estos contaminantes emergentes son liberados al ambiente por descarga de aguas residuales y de plantas de tratamiento de agua, efluentes de hospitales, etc., impactando, en ocasiones sin que lo advirtamos, a los ecosistemas y a la salud humana, acumulándose hasta alcanzar una concentración elevada y persistente.

## ¿Qué es un contaminante emergente?

Un contaminante emergente (CE) se define como cualquier material (particulado), elemento o sustancia química (orgánica e inorgánica) que no está regulado y cuya presencia en el medioambiente, agua, alimentos o cualquier ser vivo, no es necesariamente nueva, pero sí lo es el conocimiento de los posibles riesgos hacia la salud humana y a los ecosistemas (USEPA Workgroup, 2008; Vázquez-Tapia *et al.*, 2022; Dey *et al.*, 2019). Por lo tanto, si un contaminante es detectado recientemente o se descubren sus efectos tóxicos, se le denomina *emergente* (Gogoi *et al.*, 2018).

## Clasificación

Actualmente están identificados más de mil 36 contaminantes emergentes y sus productos de biotransformación (**Figura 8-2**). Los CE se clasifican en 30 clases según su origen y tipo, su estructura química, la movilidad, persistencia, toxicidad, bioacumulación, etc. (Dey *et al.*, 2019; Solís, 2021). La clasificación más general y actual se muestra en la **Tabla 8-1**.



**Figura 8-2.** *Productos de higiene personal y farmacéuticos.*

## ¿Pero de dónde provienen los contaminantes emergentes?

Conocer las fuentes de los CE es esencial por dos razones: 1) poder aplicar la legislación correspondiente según la fuente; y 2) establecer alternativas de minimización o eliminación de los CE.

Los principales CE son antropogénicos, es decir, provienen de actividades humanas (**Figura 8-3**).



**Figura 8-3.** *Imagen creada con inteligencia artificial.*

**Tabla 8-1.** Contaminantes emergentes de interés más representativos.

Modificado de Arbelaez, 2015 y Cuenca-Rompinelli, 2019.

<b>Grupo de contaminantes</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Compuestos de interés emergente</b>
<b>Productos farmacéuticos</b>	Antibióticos, analgésicos, antiinflamatorios y psiquiátricos	Lincosamidas, macrólidos, sulfamidas, tetraciclinas, quinolonas, paracetamol, ácido acetil salicílico, ibuprofeno, diclofenaco, benzodiacepinas, barbitúricos
	B-bloqueantes, medios de contraste de rayos X, esteroides, hormonas y citostáticos	Metoprolol, propranolol, timolol, iopromide, iopamidol, diatrizoato, estradiol, estrona, estriol, dietilestilbestrol, vincristina, etopósido, cisplatino
<b>Productos de higiene personal</b>	Cremas, lociones, fragancias, desodorantes, cosméticos, suplementos nutricionales, filtros UV	Metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno, benzofenonas, cinamato, bencilidenos, derivados del alcanfor, fragancias nitro, policíclicas y macrocíclicas, oxibenzona, avobenzona, octoxinato, homosalato, octisalato, octocrileno
<b>Tensoactivos</b>	Detergentes: sulfonatos y sulfatos de cadena larga; fosfatos y fosfonatos; carboxilatos, estabilizadores de espuma de detergentes (alcanolamidas) y emulsionantes (alquilfenoles)	Alfa-olefin sulfonato de sodio, laurilmetalonamida, nonifenol y octilfenol
<b>Aditivos y agentes industriales</b>	Benzotriazoles y agentes quelantes	Benzotriazol, toliltriazol y EDTA
<b>Edulcorantes</b>	-	Sacarina, sucralosa, aspartamo, ciclamato, stevia, NHDC
<b>Productos con cafeína</b>	Café soluble o en grano, té, bebidas energéticas	Cafeína y paraxantina
<b>Drogas de abuso</b>	Cocaínicos, opiáceos, opioides	Cocaína, benzoilecgonina, morfina, codeína, heroína, metadona
<b>Productos agrícolas</b>	Plaguicidas	Glifosato, lindano, DDT, clorpirifos, etc.

Los CE se encuentran en las aguas residuales tratadas y no tratadas de tipo doméstico (municipales), industrial, agrícola, ganadero y hospitalario, así como en lixiviados de basureros, etc. (**Figura 8-4**) (Gogoi *et al.*, 2018; Burri *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2019). Los CE se transportan en el agua ya sea superficial, como ríos, o subterránea (acuíferos, cenotes) (Kumar *et al.*, 2022).



**Figura 8-4.** Principales fuentes de entrada de los antibióticos a los ecosistemas.

La mayoría de las plantas tratadoras de aguas residuales (PTAR) no están diseñadas para eliminar los contaminantes emergentes aún, por lo que pueden estar presentes en el agua de abastecimiento (que es la que usamos y consumimos diariamente) pudiendo afectar a la salud pública.

Asimismo, dado el reciente desarrollo de técnicas de detección de los CE, es que hay escasos estudios al respecto, por lo que no se conocen completamente los efectos tóxicos y tampoco tenemos regulaciones para los CE (Cuenca-Rompinelli, 2019).

## ¿Y cuáles son los efectos tóxicos de los CE?

Algunas investigaciones han reportado que la presencia de estos contaminantes ha tenido un impacto negativo en especies vegetales y animales, afectando su equilibrio hormonal, causando intersexualidad, es decir, feminización en machos y masculinización en hembras, disminución de la fertilidad, carcinogénesis, entre otros (Ibor *et al.*, 2016; Karki *et al.*, 2021). En los humanos actúan como disruptores endocrinos, los cuales son componentes capaces de influir en la producción, liberación, transporte, metabolismo, unión, acción o eliminación de las hormonas en el cuerpo (Eckstein y William, 2011), produciendo patologías como disfunción reproductiva, cáncer, trastornos del sistema inmunitario e incluso disfunción del desarrollo neurológico (Kabir *et al.*, 2015). Cada contaminante afecta de manera diferente al organismo; sin embargo, se pueden diferenciar ciertos CE de acuerdo con sus efectos nocivos como se observa en la **Figura 8-5**.



**Figura 8-5.** Principales impactos y efectos nocivos sobre la salud humana de los contaminantes emergentes (Modificado de Kumar et al., 2022).

## ¿Y hay leyes que me protejan de los CE?

Actualmente, algunos CE no están incluidos en los programas de monitoreo ambiental nacional e internacional, y a menudo, no se sabe sobre su destino, comportamiento y efectos ecotoxicológicos.

La mayoría de los países de Latinoamérica no tienen una normativa legal adecuada para su regulación, mientras que en Europa, la Directiva del Parlamento (realizada en 2013) amplió la lista hasta 45 sustancias prioritarias, de las cuales 21 son identificadas como peligrosas (Carrasco et al., 2017).

## ¿Las PTAR evitan que mis CE lleguen al medioambiente?

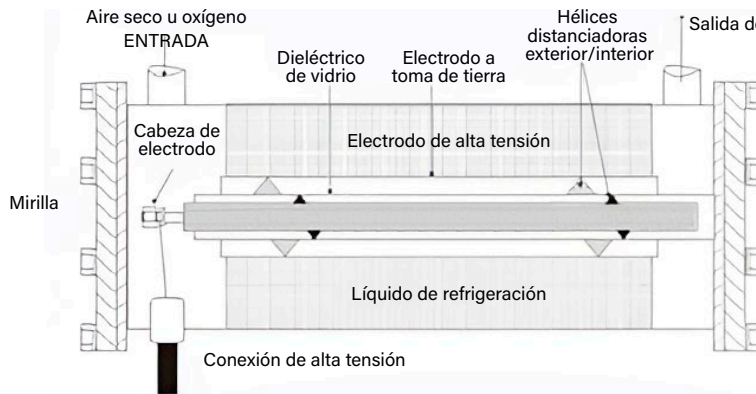
De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), las tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales han demostrado ser ineficaces para eliminar muchos de los CE.

Actualmente, aparte de los CE que viste en la **Figura 8-1** también se están añadiendo las nanopartículas, microplásticos, tierras o elementos raros, genes de resistencia a antibióticos y al virus SARS-CoV-2 (IMTA, 2021).

La mayoría de los contaminantes emergentes no están regulados en las normas ambientales de calidad del agua y de descarga de aguas residuales. Esto es algo urgente que atender, se necesita fortalecer el conocimiento científico y adoptar enfoques tecnológicos y políticos apropiados para monitorear los contaminantes emergentes en los recursos hídricos y las aguas residuales, evaluar sus riesgos potenciales para la salud humana y el medioambiente, así como prevenir y controlar su eliminación en los recursos hídricos y el ambiente.

Si bien no todas las PTAR cuentan con métodos de eliminación suficientes, algunas si cuentan con un tratamiento terciario que sí permite eliminar los CE. Los métodos que presentan una eficacia de hasta el 100 % incluyen (Cuenca-Rompinelli, 2019):

- Ozonización (oxidación por ozono) (**Figura 8-6**).
- Fotólisis (degradación por luz).
- Ósmosis inversa (separación de moléculas por una membrana semipermeable).
- Fenton (oxidación avanzada).
- Biomembrana (membrana selectivamente permeable).













### Esquema de un generador de ozono

**Figura 8-6.** Proceso de ozonización de aguas residuales.  
Fuente: REMTAVARES, 2008.

Finalmente, debemos ser realistas y entender que no podemos monitorear y regular más de 73 millones de sustancias químicas, pero sí podemos enfocarnos en aquellos que puedan ser más dañinos al ambiente y al humano. También es importante que, como ciudadanos, llevemos acciones diarias para disminuir la presencia de CE en el agua superficial, subterránea y en el mar.

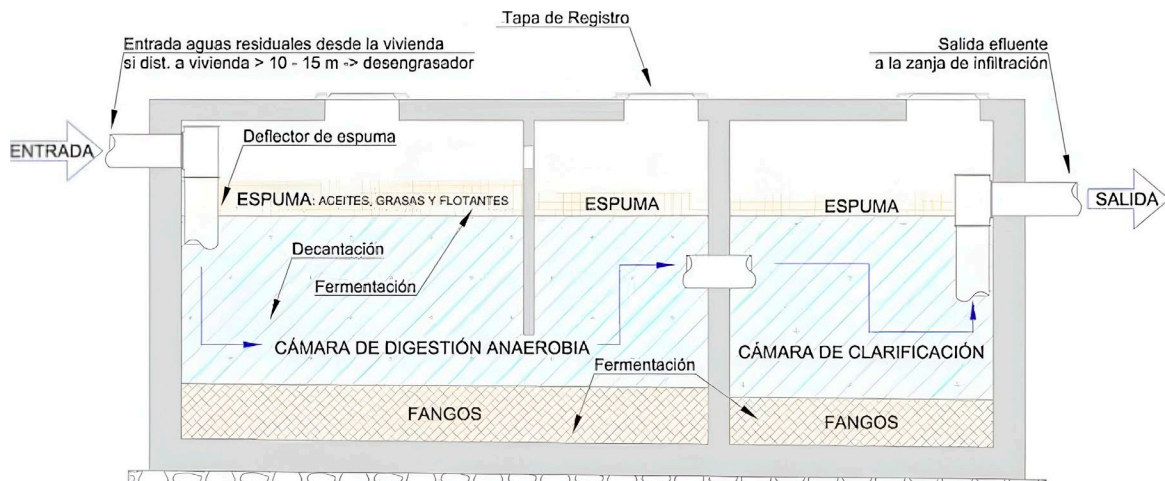
### ¿Qué acciones puedo tomar?

1. Usa los servicios de recolección y separación de basura y evita depositar tus desechos a ríos, lagos, costas, manglares y otros cuerpos de agua (**Figura 8-7**).

 <p><b>Tip 1</b> Pide en restaurantes vasos de vidrio</p>	 <p><b>Tip 2</b> Usa termos, no compres botellas de agua</p>	 <p><b>Tip 3</b> Carga siempre cubiertos de metal, para evitar consumir desechables</p>	 <p><b>Tip 4</b> Evita comprar juguetes de plástico de poca durabilidad</p>	 <p><b>Tip 5</b> Si usas desechables en reuniones, que sean biodegradables</p>
 <p><b>Tip 6</b> Guarda los envases de vidrio después de usarlos y utilízalos para almacenar comida</p>	 <p><b>Tip 7</b> Guarda siempre bolsas de tela en tu carro/mochila para evitar consumir bolsas de plástico</p>	 <p><b>Tip 8</b> Recicla tus aparatos electrónicos y evita comprar "lo nuevo" si no lo necesitas</p>	 <p><b>Tip 9</b> Realiza composta en casa, para disminuir el uso de bolsas de basura</p>	 <p><b>Tip 10</b> Procura comprar productos en vidrio, no en plástico</p>

**Figura 8-7.** Tips para disminuir la contaminación.

- Para el desecho de medicamentos acude a cualquiera de los hospitales, farmacias y demás puntos de recolección del Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases de Medicamentos (SINGREM) y deposita en sus contenedores especiales los medicamentos caducos, aquellos que ya no vas a poder usar por haber concluido un tratamiento o los empaques de medicamentos vacíos. Para más información ingresa a <https://bit.ly/3RTPvMI>.
- Asegúrate de que la fosa séptica de tu casa no tenga fracturas, si no han tenido que “limpiarlo” en los últimos dos años, seguramente tiene una fractura y todo se está escapando (**Figura 8-8**).



**Figura 8-8.** Funcionamiento de una fosa séptica adecuada. Fuente: Life Rural Supplies, 2023.

- No realices tus necesidades fisiológicas en lagos, humedales y/o cenotes, ya que los medicamentos no procesados por el cuerpo se eliminan a través de orines y excrementos, dejando a los peces y microorganismos expuestos a estas sustancias, pudiendo causar efectos negativos en ellos.
- Con respecto a los bloqueadores solares:
  - NO LOS USES en lagos y cenotes.
  - Si los usas, aplícalos 30 minutos antes de entrar al agua. Si entras al agua antes de la media hora, el producto se deslava y se libera al cuerpo de agua.

No consumas protectores solares que contengan las siguientes sustancias en sus ingredientes: oxibenzona, octoxinato (provocan daño a los arrecifes de coral), octocrileno (asociado al cáncer de piel en humanos) y otros ingredientes como octisalato, homosalato y avobenzona.
- Evita que el agua de lavado de la ropa se escurra a los ríos, lagos, costas, zonas de manglares, alcantarillas o a aberturas que conecten de manera directa con el agua subterránea.



## Actividades de aprendizaje

1. Haz una lista de siete cosas de uso personal que tengas en casa e identifica entre sus ingredientes cuáles están listados como contaminantes emergentes.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_

2. Ve a la sección *¿Qué acciones puedo tomar?* y reflexiona sobre lo que puedes hacer para evitar que algunos CE lleguen a los cuerpos acuáticos de tu localidad.

## Referencias

- Alcalá, I., y Lahora, J. (2020). *Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas*. Revista científica de ecología y medioambiente. Ecosistemas 29(3):2070. <http://doi.org/10.78/ECOS.2070>.
- Arbeláez, P. A. (2015). *Contaminantes emergentes en aguas residuales y de río y de fangos de depuradora*. Tesis Doctoral. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona, España.
- Barceló, D. et al. 2008. *Aguas continentales. Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. Consejo Superior de Investigaciones Científica (España). ISSN 978-84-00-08664-0. <https://bit.ly/3MwbAQc>
- Burri, N. M., Weatherl, R., Moeck, C., & Schirmer, M. (2019). *A review of threats to groundwater quality in the anthropocene*. Science of The Total Environment. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.2
- Carrasco, J. C.; Serrano, C. Y., Orellana, D. F. (2017). *Contaminantes emergentes y su impacto en la salud*. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad de la Cuenca. Volumen 35 / No.2 / diciembre 2017 / 55-59pp <https://bit.ly/3rUY7b9>
- Cuenca-Rompinelli, M. T. (2019). *Contaminantes emergentes: origen y destino*. Master Universitario en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos. Universidad de Alcalá y Universidad del Rey Juan Carlos. Alcalá de Henares, España. <https://bit.ly/3S4Pplg>
- Dey, S., Bano, F., & Malik, A. (2019). *Pharmaceuticals and personal care product (PPCP) contamination—a global discharge inventory*. Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology, 1-26. doi:10.1016/b978-0-12-816189-0.00001-9
- Eckstein, G., William, G. (2011). *Alternative Strategies for Managing Pharmaceutical and Personal Care Products in Water Resources*. (pp. 8 y 9). Texas Tech University Center for Water Law & Policy. <https://bit.ly/3Tix45k>
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V. K., Tushara Chaminda, G. G., An, A. K., & Kumar, M. (2018). *Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review*. Groundwater for Sustainable Development, 6, 169-180. doi:10.1016/j.gsd. 2017.12.009
- Ibor, O. R., Adeogun, A. O., Fagbohun, O. A., & Arukwe, A. (2016). *Gonado-histopathological changes, intersex and endocrine disruptor responses in relation to contaminant burden in Tilapia species from Ogun River, Nigeria*. Chemosphere. 164, 248-262. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.08.087

- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2021). *Perspectivas de los contaminantes emergentes en el mundo*. Gobierno de México. <https://bit.ly/3MwT0HE>
- Kabir, E. R., Rahman, M. S., & Rahman, I. (2015). *A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(1), 241-258. doi: 10.1016/j.etap.2015.06.009
- Karki, N. P., Colombo, R. E., Gaines, K. F., & Maia, A. (2021). *Exposure to 17 $\beta$  estradiol causes erosion of sexual dimorphism in Bluegill (*Lepomis macrochirus*)*. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-020-10935-5
- Kumar, R., Qureshi, M., Kumar, V. D., Al-Ansari, N., Kuriqi, A., Elbeltagi, A. & Saraswat, A. (2022). *A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies*. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6(2022), 100219
- Life rural supplies (2023). *La fosa séptica*. <https://liferuralsupplies.wordpress.com/4-informacion-al-usuario/saneamiento-autonomo/04-saneamiento-autonomo-basico-fosa-septica-y-area-de-percolacion/04-02-la-fosa-septica/>
- REMTAVARES, Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables (enero, 2008). MIOD. Un lugar para la ciencia y la tecnología. <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>
- Singh, R., Singh, A. P., Kumar, S., Giri, B. S., & Kim, K.-H. (2019). *Antibiotic Resistance in Major Rivers in the World: A Systematic Review on Occurrence, Emergence, and Management Strategies*. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.243
- Solís, M. C. [Dirección General de Investigaciones]. (2021) *Degradación de contaminantes emergentes*. [Archivo de video] YouTube. <https://bit.ly/3T2RVKj>
- USEPA. OW/ORD Emerging Contaminants Workgroup. (2008). *White paper. Aquatic Life Criteria for Contaminants of Emerging Concern. Part I. General Challenges and Recommendations*. United States Environmental Protection Agency.
- Vázquez-Tapia, I., Salazar-Martínez, T., Acosta-Castro, M., Meléndez-Castolo, K. A., Mahlknecht, J., Cervantes-Avilés, P., Capparelli, M.V. y Mora, A. (2022). *Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico: A review*. *Chemosphere*, 308 (2022) Parte 1.
- Zubcov, E., & Antoaneta, E. (2021). *Ecotoxicological methodological guide for environmental monitoring: problematics, laboratory techniques and health risk investigation*. University of Galaty, Moldova. 112p.

# Autores



**Aída Isabel Sánchez Salas**

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México

[aidasan@ciencias.unam.mx](mailto:aidasan@ciencias.unam.mx)

<https://orcid.org/0009-0004-1623-9769>



**Ana Patricia García García**

Escuela Nacional Preparatoria Plantel 5  
"José Vasconcelos"

Universidad Nacional Autónoma de México

[ana.garcia@enp.unam.mx](mailto:ana.garcia@enp.unam.mx)

<https://orcid.org/0009-0005-0879-0099>



**Azucena Dótor Almazán**

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Campus Mérida  
Universidad Nacional Autónoma de México

[azucena.dotor@enesmerida.unam.mx](mailto:azucena.dotor@enesmerida.unam.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-2900-5791>



**Andrea Betsabé Juárez Morales**

Unidad de Química en Sisal, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México

[betsyjuarez014@gmail.com](mailto:betsyjuarez014@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0004-0795-4154>



**Elsa Noreña Barroso**

Unidad de Química en Sisal, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México

[enorena@unam.mx](mailto:enorena@unam.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-0800-1222>



**Flor Elisa del Rosario Árcega Cabrera**

Unidad de Química en Sisal, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México

[farcega@unam.mx](mailto:farcega@unam.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-9794-833X>



**Ivonne Trejo Ventura**

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México

[ivonne.trejo.ventura@gmail.com](mailto:ivonne.trejo.ventura@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0001-7741-1962>



**Ismael Alberto Ocegüera-Vargas**

Unidad de Química en Sisal, Facultad de Química  
Universidad Nacional Autónoma de México

[iocegüera@quimica.unam.mx](mailto:iocegüera@quimica.unam.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-5477-8649>



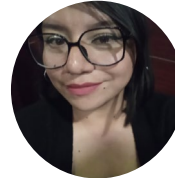
**Leticia Esmeralda Cruz Escalante**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[lety\\_bafa@hotmail.com](mailto:lety_bafa@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-5837-4839>



**María Concepción Gómez Maldonado**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[maritacgm@hotmail.com](mailto:maritacgm@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-0347-5645>



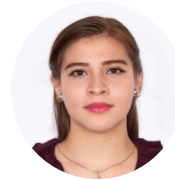
**María Luz Chavacán Ávila**  
Posgrado en Ciencias de la Producción  
y Salud Animal  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[luzchavacan@fmvz.unam.mx](mailto:luzchavacan@fmvz.unam.mx)  
<https://orcid.org/0009-0006-8460-2800>



**Mariela Méndez Isidro**  
Secretaría de Educación Media  
Preparatoria oficial No. 324  
[meim911216mdfnsr09@bggem.mx](mailto:meim911216mdfnsr09@bggem.mx)  
<https://orcid.org/0009-0007-57152143>



**Mayra Carolina Reyes Santillán**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[bio.2605@gmail.com](mailto:bio.2605@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-9772-953X>



**Mayte Flores Cortés**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[mayteflorescortes@gmail.com](mailto:mayteflorescortes@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0009-8894-1641>



**Miriam Elizabeth Lamas Cosío**  
Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Campus Mérida  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[e.lamas89@hotmail.com](mailto:e.lamas89@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-2948-622x>

# Índice de figuras

## Figura 1-1

Máquina de arado preparando la tierra para aplicar fertilizante.

Fuente: AgroSpray.com ..... 17

## Figura 1-2

Ejemplo de las emisiones de contaminación a la atmósfera.

Fuente: National Geographic ..... 17

## Figura 1-3

Ejemplo de la contaminación lumínica en las ciudades.

Fuente: Contaminacionambiental.net ..... 18

## Figura 1-4

Ejemplo de aporte de contaminantes sólidos al agua.

Fuente: Gaceta UNAM ..... 18

## Figura 1-5

Ejemplo de distintos aportes puntuales de contaminación acuática.

Fuente: Gaceta UNAM ..... 18

## Figura 1-6

Ejemplo de los aportes de fuentes difusas de contaminación.

Fuente: Gaceta UNAM ..... 19

## Figura 1-7

Dramatización de síntomas por contaminación.

Fuente: Gaceta UNAM ..... 20

## Figura 2-1

Distribución mundial del agua. Fuente: El Ágora diario del agua, 2020 ..... 29

## Figura 2-2

Sistemas acuáticos de México (elaboración propia, imágenes tomadas de Manzanos, 2019, Deutsche, s.f., S.A.S., 2020, Portillo, 2020, Castelo, 2022, Ciesciaes, 2017 y Soto, 2022). ..... 30

<b>Figura 2-3</b>	
Medusas, organismos pelágicos (Salette, 2018.) .....	30
<b>Figura 2-4</b>	
Corales, organismos bentónicos (Domínguez-Guerrero, 2022) .....	31
<b>Figura 2-5</b>	
Vías de ingreso de contaminantes en los organismos marinos (elaboración propia) .....	31
<b>Figura 2-6</b>	
Lago de Chapala (Foto: Gil Garza) .....	32
<b>Figura 2-7</b>	
Sucesión de los lagos (elaboración propia) .....	32
<b>Figura 2-8</b>	
Estratificación de los lagos (elaboración propia) .....	32
<b>Figura 2-9</b>	
Laguna de Términos, Campeche (modificada de NASA) .....	33
<b>Figura 2-10</b>	
Cenote Ik Kil, Yuc. (Foto: Irving Huertas) .....	34
<b>Figura 2-11</b>	
Estuario del Estado de Guerrero (Arrechea, 2018). .....	34
<b>Figura 2-12</b>	
Reserva de la biosfera Marismas Nacionales Nayarit (Ramírez-Zavala, et al., 2004). .....	35
<b>Figura 2-13</b>	
Mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> ) (Foto: Henry Sánchez Vega) .....	35
<b>Figura 2-14</b>	
Aguas residuales. (Fuente: El Ágora) .....	36
<b>Figura 3-1</b>	
Mercurio (Hg), líquido a temperatura ambiente. ....	47

<b>Figura 3-2</b>	
Tabla periódica de los elementos químicos.....	47
<b>Figura 3-3</b>	
Forma en que el cobre se encuentra en nuestro alrededor (Quintanar, 2018) .....	47
<b>Figura 3-4</b>	
Ejemplos de algunos metales pesados (Elaboración propia) .....	48
<b>Figura 3-5</b>	
Unión de un río limpio con uno contaminado que baja desde un proyecto minero del Perú (Orihuela, 2021) .....	49
<b>Figura 3-6</b>	
Causas y consecuencias de la contaminación por metales pesados (Aconsa, 2021) .....	49
<b>Figura 3-7</b>	
Consecuencias de la contaminación acuática (García, 2020) .....	50
<b>Figura 3-8</b>	
Ejemplo de nado errático de un pez.....	50
<b>Figura 3-9</b>	
Manifestación de arsenicismo en persona afectada en Bangladesh (Valerio, 2016) .....	50
<b>Figura 3-10</b>	
Cantidad y tipo de pescado que se puede consumir según la EPA. ....	51
<b>Figura 4-1</b>	
Molécula de hidrocarburo (antraceno).....	65
<b>Figura 4-2</b>	
Ejemplo de hidrocarburo alifático (etano) Imagen de freepng .....	65
<b>Figura 4-3</b>	
Ejemplo de hidrocarburo aromático (Fenantreno) Imagen de Mario Olaya en Pixabay .....	65



<b>Figura 4-4</b>	
Clasificación general de los hidrocarburos de petróleo .....	66
<b>Figura 4-5</b>	
Estructura química de un HAH. (Chavacán, 2022) .....	67
<b>Figura 4-6</b>	
Estructura química de un HAM. (Chavacán, 2022) .....	67
<b>Figura 4-7</b>	
Envases de plástico Imagen de Vachagan Malkhasyan en Pixabay .....	67
<b>Figura 4-8</b>	
Combustible para vehículo Imagen de Jiří Fröhlich en Pixabay .....	68
<b>Figura 4-9</b>	
Estructura química de un HAP. (Chavacán, 2022) .....	68
<b>Figura 4-10</b>	
Factores que afectan la presencia de hidrocarburos en el ambiente acuático Elaborado a partir de Fondo para la comunicación y la educación ambiental A.C. (2007) .....	69
<b>Figura 4-11</b>	
Transporte y destino de los HAP en aire, agua, suelo y sedimento. Elaborado a partir de Amaringo et al. (2018) .....	69
<b>Figura 4-12</b>	
Plataforma petrolera Imagen de Keri Jackson en Pixabay .....	70
<b>Figura 4-13</b>	
Peces con asfixia por derrame de petróleo Imagen tomada de Patricia López Gaceta UNAM (2018) .....	70
<b>Figura 4-14</b>	
Estructura y fórmula química de los 16 HAP prioritarios (Chavacán, 2022) .....	71
<b>Figura 4-15</b>	
Leyes y NOM en materia de contaminación de agua y suelo por hidrocarburos .....	72

<b>Figura 4-16</b>	
Imagen tomada de Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2019 .....	73
<b>Figura 4-17</b>	
Imagen tomada por United States Coast Guard, 2010 .....	73
<b>Figura 5-1</b>	
Plaguicida .....	83
<b>Figura 5-2</b>	
Aplicación de productos químicos agricultura imagen de Th G en Pixabay .....	83
<b>Figura 5-3</b>	
Carencia de selectividad de los plaguicidas Imagen de (Chavacán, 2022) .....	83
<b>Figura 5-4</b>	
Procesos asociados a la contaminación de los plaguicidas en el ambiente .....	85
<b>Figura 5-5</b>	
Propiedades físicas y químicas de los plaguicidas .....	85
<b>Figura 5-6</b>	
Algunos efectos de los plaguicidas en organismos acuáticos .....	86
<b>Figura 5-7</b>	
Rana con polimelia (extremidades extra) Lajmanovich et al. 2012 .....	86
<b>Figura 5-8</b>	
Mortandad de peces .....	86
<b>Figura 5-9</b>	
Especificaciones que debe contener la ficha técnica de cada plaguicida según su grado de toxicidad (OMS, 2019) .....	87
<b>Figura 5-10</b>	
Legislación nacional en materia de plaguicidas .....	87
<b>Figura 6-1</b>	
Fuentes de contaminación por nutrientes. Elaborado por: Gómez-Maldonado 2023 .....	97

<b>Figura 6-2</b>	Fuentes de fósforo al medio acuático. Elaborado por Chavacán-Ávila, 2023 .....	98
<b>Figura 6-3</b>	Cambios de las formas de nitrógeno en el agua. Elaborado por: Gómez- Maldonado, 2023 .....	99
<b>Figura 6-4</b>	Una de las manifestaciones clínicas de la metahemoglobinemia es la cianosis, coloración azul que se adquiere por una falta deficiente de oxígeno .....	101
<b>Figura 6-5</b>	Fosfato total en aguas superficiales .....	103
<b>Figura 6-6</b>	Nitrato total en aguas superficiales. Elaborado por: SEMARNAT 2009 con datos de CONAGUA 2007, 2008) .....	103
<b>Figura 6-7</b>	El crecimiento excesivo de algas puede ocasionar muerte por hipoxia o por la producción de toxinas letales para los peces y animales que consuman el agua como aves y mamíferos .....	103
<b>Figura 6-8</b>	Clasificación de los cuerpos de agua según su estado trófico Elaborado por: Gómez- Maldonado 2023 .....	104
<b>Figura 6-9</b>	Uso del disco de Schecci. Crédito: Vicente Sancho, 2010 .....	105
<b>Figura 6-10</b>	La contaminación que presentan lagos urbanos como Chapultepec, Xochimilco, Aragón, Tezozomoc, la Alameda Oriente es generada por visitantes que al tirar comida favorecen el crecimiento de algas y plantas acuáticas y el agua se pone verde. Fuente: Red de del Agua .....	105
<b>Figura 6-11</b>	Tramo del Río Tula Crédito: Carlos Sánchez y CulturandoMX .....	107
<b>Figura 7-1</b>	La gran isla de plástico del Pacífico .....	117

<b>Figura 7-2</b>	Afectaciones del desecho de plásticos en los océanos (elaboración propia) .....	118
<b>Figura 7-3</b>	Clasificación de plásticos por su tamaño y formas de los microplásticos .....	119
<b>Figura 7-4</b>	Pasta dental con microesferas .....	119
<b>Figura 7-5</b>	Popote fragmentado .....	119
<b>Figura 7-6</b>	Clasificación de los microplásticos por su forma .....	120
<b>Figura 7-7</b>	Vías de ingreso y proceso de desintegración de los desechos plásticos y repercusiones en la fauna acuática (Figura adaptada de Li, et al., 2016) .....	120
<b>Figura 7-8</b>	Pez con microplásticos en el estómago (Greenpeace, 2019) .....	121
<b>Figura 7-9</b>	Tortuga con contenido estomacal de microplásticos (Futuro verde, 2020) .....	121
<b>Figura 7-10</b>	Transferencia de microplásticos al alimento humano (MDK, 2022) .....	121
<b>Figura 8-1</b>	Ejemplo de contaminantes emergentes, tomada y modificada de Zubcob y Antoaneta 2021 .....	131
<b>Figura 8-2</b>	Productos de higiene personal y farmacéuticos, tomada de Milenio y Alamy, 2023 .....	132
<b>Figura 8-3</b>	Origen de los contaminantes emergentes .....	132
<b>Figura 8-4</b>	Principales fuentes de entrada de los antibióticos a los ecosistemas .....	134

**Figura 8-5**

Principales impactos y efectos nocivos sobre la salud humana de los contaminantes emergentes (Modificado de Kumar et al., 2022) ..... 135

**Figura 8-6**

Proceso de ozonización de aguas residuales. Fuente: REMTAVARES, 2008 ..... 136

**Figura 8-7**

Tips para disminuir la contaminación ..... 136

**Figura 8-8**

Funcionamiento de una fosa séptica adecuada. Fuente: Life Rural Supplies, 2023 ..... 137

# Índice de tablas

<b>Tabla 3-1</b>	
Usos comunes de los metales más relevantes (Zamora et al., 2021; Yahaya y Don, 2014; Cleveland Clinic, 2022) .....	54
<b>Tabla 5-1</b>	
Clasificación general de los plaguicidas .....	84
<b>Tabla 5-2</b>	
Persistencia y vida media de los plaguicidas .....	84
<b>Tabla 5-3</b>	
Plaguicidas detectados en especies acuáticas del Golfo de México y del Pacífico Mexicano .....	88
<b>Tabla 6-1</b>	
Similitudes y diferencias entre las fuentes del nitrato y el nitrito .....	100
<b>Tabla 6-2</b>	
Principales características del amoniaco y el amonio .....	102
<b>Tabla 6-3</b>	
Límites máximos permitidos de nitrato nitrito y amonio en México .....	103
<b>Tabla 6-4</b>	
Parámetros de evaluación del estado trófico del agua OCDE (1982) .....	105
<b>Tabla 6-5</b>	
Algunos sitios donde se presenta el problema de la eutrofización en México .....	106
<b>Tabla 8-1</b>	
Contaminantes emergentes de interés más representativos. Modificado de Arbelaez, 2015 y Cuenca Rompinelli 2019 .....	133

*Contaminación de los sistemas acuáticos en México: ¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?* es una obra editada por la Facultad de Química.

Se utilizaron en la composición los tipos Acumin Variable Concept y Britannic Bold  
El cuidado de la edición estuvo a cargo de M en C Brenda Álvarez Carreño  
Diseño: Lic. Sandra Verónica García Olivares

Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química  
Octubre de 2024

Dirección General de la Publicación  
Dra. Flor Árcega Cabrera  
<https://orcid.org/0000-0001-9794-833X>

*Contaminación de los sistemas acuáticos en México: ¿qué es y qué puedo hacer yo para ayudar a disminuirla?* surgió en el año 2022 en la clase Contaminación, fuentes y procesos del programa de posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, como respuesta al interés y entusiasmo de los autores en aportar herramientas a la sociedad, pues además de concientizarla respecto a la contaminación, brinda un abanico de posibilidades que les permite ser parte de la solución a esta problemática.

Este libro incluye material didáctico pensado para un sector clave en el desarrollo de nuestra sociedad: estudiantes de secundaria y bachillerato, capaces de comprender las problemáticas, aplicar lo aprendido y transmitirlo a otros grupos de la población, convirtiéndose así en agentes de cambio.

El libro explora y explica de manera clara, resumida y amena los principales tipos de contaminación, sus efectos en la salud humana y alternativas para mitigar sus impactos, tanto en el ecosistema como en la sociedad. Cuenta con distintas actividades de aprendizaje que ayudarán a los alumnos a reforzar los conocimientos adquiridos. Este libro se constituye como una herramienta entretenida y útil para transmitir el conocimiento científico a la sociedad, al mismo tiempo que se crea conciencia y motiva la participación para plantear soluciones a este importante tema.

