

## Contaminantes presentes en agua y su potencial impacto en la salud

HERSON ANTONIO GONZÁLEZ-PONCE<sup>1</sup> Y ADRIÁN BONILLA-PETRICIOLET<sup>2</sup>

### RESUMEN

***La salud está directamente relacionada con la calidad del agua. La incidencia de intoxicaciones o enfermedades, generadas por la exposición a contaminantes tóxicos del agua, ha incrementado significativamente durante el tiempo hasta llegar a ser considerado un problema de salud pública que crece en importancia. Las actividades humanas y el incremento de la población mundial inciden en la contaminación del agua superficial y subterránea. Por ello, existe la necesidad de promover leyes y crear regulaciones que limiten la presencia de sustancias tóxicas que aún no han sido incluidas en la normatividad nacional e internacional, así como de desarrollar estrategias efectivas para la detección y remoción de contaminantes emergentes en agua que representan una amenaza para la salud pública y ambiental. El objetivo de este artículo es abordar esta temática que está directamente relacionada con la agenda de los objetivos de desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas.***

**Palabras clave:** Salud pública, calidad del agua, sustancias tóxicas, contaminación del agua, contaminantes emergentes

<sup>1</sup>PhD, Doctor en Ciencias Biológicas. Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios no. 168, Dirección General de Educación Tecnológica Industrial y de Servicios, Aguascalientes, 20010, México. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Tecnológico Nacional de México, Aguascalientes, 20256, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-4624>.

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias en Ingeniería Química. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Tecnológico Nacional de México, Aguascalientes, 20256, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0197-3539>.

**Autor de Correspondencia:** Herson Antonio González-Ponce, [herson\\_qfbd@hotmail.com](mailto:herson_qfbd@hotmail.com)

**Recibido:** 15 / 10 / 2024

**Aceptado:** 14 / 04 / 2025

**Publicado:** 26 / 05 / 2025

### Cómo citar este artículo:

González-Ponce, H. A., & Bonilla-Petriciolet, A. (2025). Contaminantes presentes en agua y su potencial impacto en la salud. *EPISTEMUS*, 19(38), e3811407. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i38.407>

## Contaminants present in water and their potential health impact

### ABSTRACT

***Health is directly linked to water quality. The incidence of poisoning and diseases, caused by the exposure to toxic water pollutants has significantly increased over time, to the point of becoming a growing public health concern. Human activities and the rise in global population rates contribute to both surface and groundwater pollution. Consequently, there is a pressing need to promote legislation and to establish regulations to limit the presence of toxic substances not yet addressed by national or international standards, as well as to develop efficient strategies for the detection and removal of contaminants of emerging concern that pose a threat to public and environmental health. The aim of this article is to address this issue, which is closely aligned with the United Nations Sustainable Development Goals agenda.***

***Key words:*** Public health, water quality, toxic substances, water pollution, contaminants of emerging concern





## INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, el acceso al agua potable y segura debe ser un derecho humano, ya que esta fuente natural es vital para la supervivencia de los organismos vivos. La disposición de fuentes de abastecimiento de agua que estén libres de contaminantes tóxicos es fundamental para proteger la salud y mejorar la calidad de vida de la sociedad, así como para reducir los costos asociados a la atención de la salud pública que se pudieran generar por la exposición a largo plazo a agua contaminada [1]. Sin embargo, las actividades humanas a gran escala (minería, industria, ganadería, agricultura), los factores geogénicos (por ejemplo, erupciones de volcanes o composición geológica de acuíferos) y los patrones de consumo han generado la presencia de diversos contaminantes que deterioran la calidad del agua a nivel global [2], [3], [4]. Hay estudios que sugieren que casi el 80 % de la población global vive en áreas con fuentes de agua contaminada debido a la agricultura intensiva y alta densidad poblacional, México destaca por ser uno de los principales países de Latinoamérica que enfrentan este escenario desfavorable [5].

La población está expuesta a los contaminantes presentes en agua directamente por la absorción a través de la piel y la ingestión por vía oral, así como indirectamente a través de la comida contaminada [6]. En este contexto se debe resaltar la problemática ambiental que se enfrenta y que está asociada tanto a los contaminantes ya conocidos e identificados a lo largo de la historia como a aquellos contaminantes que son emergentes. En particular, los contaminantes emergentes incluyen a sustancias (ya conocidas o inclusive compuestos no identificados cuyo impacto ambiental y efectos toxicológicos en organismos terrestres y acuáticos es aún desconocido, pero se empiezan a investigar debido a su reciente cuantificación y reconocimiento como agentes tóxicos para dilucidar sus mecanismos de acción, así como su epidemiología [7].

Los contaminantes se pueden encontrar en cuerpos de agua en concentraciones muy reducidas (en el orden de los miligramos, microgramos o nanogramos por litro) dependiendo de su naturaleza y origen. Sin embargo, varios de los contaminantes que pueden presentarse en fuentes de abastecimiento de agua no están regulados a nivel nacional o internacional, lo que dificulta su monitoreo y la aplicación de estrategias para controlar y regular su contenido [8]. Además, es



importante regular las descargas de agua residual en cuerpos receptores como acuíferos, humedales, suelos, lagos, etc.

Por ejemplo, en México, la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, solo incluye parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que debe cumplir el agua residual, así como límites de algunos metales y cianuro. Sin embargo, no incluye ni establece límites permisibles de otros contaminantes como desinfectantes, fármacos, pesticidas, aniones o plastificantes, por ejemplo, que contribuyen a la contaminación del agua subterránea o superficial empleada para consumo humano. Por otro lado, también es necesario incluir dentro de la normatividad vigente mexicana que establece el control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua (NOM-179-SSA1-2020) que el proceso de potabilización debe considerar la remoción de contaminantes emergentes para evitar riesgos o efectos adversos agudos y/o crónicos a la salud de la población que la consuma.



**Figura 1. Ilustración del consumo y exposición a contaminantes en agua obtenida a partir de fuentes de abastecimiento (imagen obtenida por Microsoft Designer).**





La comunidad científica internacional ha reconocido que los contaminantes convencionales y emergentes presentes en el agua representan un problema potencial de salud pública que crece en importancia. Además, necesita atención inmediata para crear acciones regulatorias o nuevas leyes que contribuyan en la reducción de sus emisiones (por ejemplo, la remoción de contaminantes de aguas residuales de empresas antes de la descarga a la red municipal), controlando su presencia y uso, y promoviendo una disminución de su impacto eco-toxicológico [2], [6], [9], [10]. También es importante impulsar una agenda de investigación y desarrollo tecnológico que permita la implementación de métodos efectivos y de bajo costo para reducir el contenido de estos contaminantes en el ambiente.

A lo largo de la historia de la humanidad, se han desarrollado métodos para la identificación y cuantificación de varias sustancias (metales pesados, metaloides, fluoruros, fármacos, retardantes de fuego, pesticidas, plastificantes, microorganismos, toxinas, etc.) que pueden estar presentes en las fuentes de abastecimiento de agua, así como en aguas residuales, y cuyo perfil toxicológico e impacto en los ecosistemas han generado su clasificación como contaminantes. Con fines ilustrativos, la Tabla 1 proporciona una relación de diferentes contaminantes del agua, su perfil toxicológico y sus límites de concentración que están regulados por instancias a nivel nacional (México) e internacional. Estos contaminantes están ampliamente distribuidos en el medioambiente y son altamente persistentes, por lo que su remoción a través de métodos convencionales de tratamiento de aguas (por ejemplo, sedimentación, coagulación, floculación, etc.) es difícil. En la siguiente sección se discuten brevemente los impactos en la salud pública ocasionados por la exposición a contaminantes a través del uso y consumo de agua.

**Tabla 1. Lista de contaminantes del agua, valores límites permisibles y sus efectos adversos [1], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17].**

Grupo de tóxicos	Agente tóxico	Valores límite internacionales	Valores límite nacionales	Efectos adversos en el humano
Microorganismos	Coliformes fecales o <i>E. coli</i>	Cero <sup>1</sup>	Ausencia/100 mL	Afecciones gastrointestinales
	<i>Giardia lamblia</i>	Cero <sup>1</sup>	Ausencia de quistes/20 L	Afecciones gastrointestinales



	Virus	Cero <sup>1</sup>	-	Afecciones gastrointestinales
Metales pesados	Plomo	0.01-0.015 mg/L	0.01 mg/L	Hipertensión, nefrotoxicidad, neurotoxicidad
	Mercurio	0.002-0.006 mg/L	0.006 mg/L	Nefrotoxicidad, carcinogénico
	Cadmio	0.003-0.005 mg/L	0.005 mg/L	Nefrotoxicidad
	Bario	0.7-2 mg/L	1.3 mg/L	Hipertensión
	Cobre	1.3-2 mg/L	2 mg/L	Afecciones gastrointestinales, hepatotoxicidad, nefrotoxicidad
	Níquel	0.07 mg/L	0.07 mg/L	Dermatitis, bronquitis, carcinogénico
	Manganeso	0.08 mg/L	0.15 mg/L	Afecciones neurológicas
Metaloides	Arsénico	Cero <sup>1</sup>	0.025 mg/L	Afecciones de la piel, carcinogénico
	Boro	1-2.4 mg/L	-	Hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, neurotoxicidad
Aniones	Fluoruros	1.5-2 mg/L	1.5 mg/L	Fluorosis esquelética y dental, enfermedades crónico-degenerativas
Desinfectantes	Cloro	4-5 mg/L	0.2-1.5 mg/L	Irritación de ojos y nariz, dolor estomacal
	Cloramina	3 mg/L	-	Irritación de ojos y nariz, asma
	Bromato	0.01 mg/L	10 µg/L	Carcinogénico
	Bromodichloro-metano	0.06 mg/L	60 µg/L	Carcinogénico
	Clorito	0.7-1 mg/L	700 µg/L	Anemia, neurotoxicidad
Fármacos	Antiinflamatorios no esteroideos	-	-	No existen reportes de intoxicaciones por consumo de
	Opioides	-	-	



	Antibióticos	-	-	agua contaminada con fármacos.
	Esteroides	-	-	
Retardantes de fuego	Éteres de difenilo polibromados: • decaBDE-209 • octaBDE • pentaBDE • tetraBDE-47	110 µg/L 61 µg/L 40 µg/L 2 µg/L	- - - -	Alterador endócrino, inmunotoxicidad, hepatotoxicidad, carcinogénico
Pesticidas	Herbicidas: • Glifosato • 2,4-D	0.7 mg/L 0.07 mg/L	- -	Nefrotoxicidad, infertilidad, hepatotoxicidad neurotoxicidad
	Organoclorados: • DDT • Tetracloruro de carbono • Aldrina y dieldrina • Clordano • Endrina	0.001 mg/L 0.004-0.005 mg/L 0.03 µg/L 0.2-2 µg/L 0.6 µg/L	1 µg/L 4 µg/L 0.03 µg/L 0.2 µg/L 0.6 µg/L	Teratogénico, alteradores endocrinos, hepatotoxicidad, carcinogénico
	Organofosforados: • Malatión • Metilparatión	0.1 mg/L 0.002 mg/L	- -	Afecciones gastrointestinales, hepatotoxicidad, neurotoxicidad
	Carbamatos: • Aldicarb • Carbofurano	0.01 mg/L 0.04 mg/L	10 µg/L 7 µg/L	Desórdenes hematológicos, infertilidad, neurotoxicidad
Plastificantes	Ftalatos: • Di(2-etilhexil) ftalato [DHEP]	0.006 mg/L	8 µg/L	Irritación de ojos y nariz, teratogénico, esterilidad o infertilidad
	Perfluoroalquilos y polifluoroalquilos (PFAS)	70 ng/L	-	Teratogénico, hepatotoxicidad, enfermedades autoinmunes, Carcinogénico

<sup>1</sup> Objetivos de nivel máximo de contaminante (MCLG, por sus siglas en inglés).

Fuente: elaboración propia.



## **Problemas de salud asociados a la exposición a contaminantes del agua**

Como se ha indicado, la presencia de contaminantes ambientales representa una amenaza para la salud de los humanos, especies animales y del ecosistema, así como un desafío a la comunidad científica para encontrar nuevas tecnologías y métodos eficientes y amigables con el medioambiente para su remoción [9]. La exposición, a corto o largo plazo, a contaminantes ambientales a través del agua se ha relacionado con la incidencia de varias patologías humanas, incluso a concentraciones muy bajas de exposición [18], las cuales incluyen estrés oxidativo celular como causa o consecuencia de enfermedades neurológicas [19], hepato-renales [20], cardiovasculares [21], inmunológicas [22], endocrinas [23], hematológicas, dermatológicas [24] y respiratorias que pueden promover el cáncer.

Por ejemplo, el estrés oxidativo celular puede ser definido como un desbalance entre los antioxidantes endógenos, enzimáticos y no enzimáticos, y los radicales libres como las especies reactivas del oxígeno (ERO) y del nitrógeno (ERN) que promueven la nitración u oxidación de macromoléculas celulares causando una alteración al interior de las células, daño a un órgano, disfunción sistémica y la muerte [25]. Una vez que los contaminantes han sido absorbidos en el organismo, entran al sistema circulatorio y llegan al hígado de los humanos o animales, y estos deben ser biotransformados en metabolitos hidrosolubles para que puedan ser eliminados por la orina y no generen toxicidad. Sin embargo, sus propiedades fisicoquímicas (estructura molecular, grupos funcionales, por mencionar algunas) varían desde lo más simple hasta estructuras complejas haciéndolos sustancias potentes y persistentes con la capacidad para interactuar con otras, y bioacumularse en tejidos específicos induciendo alteraciones de su fisiología normal, efectos adversos y toxicidad [26].

Por ejemplo, se ha reportado que el uso de flúor en productos de higiene personal como los dentífricos promueve la remineralización de la dentina y la remoción de la placa dentobacteriana. Sin embargo, debido a la exposición crónica a fluoruros de procedencia geogénica y antropogénica (pesticidas que contienen fluoruros, por ejemplo) presentes en agua de consumo humano, se ha generado un problema nacional y global por la incidencia de enfermedades relacionadas como la fluorosis dental y esquelética, y daño a tejidos blandos (intestino delgado,





hígado, riñones) y sistemas cardiovascular, neurológico, reproductivo e inmunológico. Por lo anterior, algunos estudios de investigación han sugerido que el principal mecanismo de daño de este contaminante a nivel celular está relacionado con el estrés oxidativo, que provoca disfunción mitocondrial, peroxidación de lípidos de membrana, daño al ADN (ácido desoxirribonucleico) y muerte celular, y con ello la aparición de daños o defectos a nivel genético, gastroentérico, hepatorenal, inmunológico y cognitivo [27].

Respecto al arsénico, su presencia en agua subterránea se debe a actividades geotérmicas, formaciones geológicas, pero también por actividades antropogénicas relacionadas con procesos industriales como la fabricación de pesticidas, agente de aleación, procesamiento de vidrio, textiles, productos farmacéuticos y adhesivos, que promueven la liberación de este elemento y la contaminación del medio ambiente. La contaminación de agua subterránea con arsénico representa problema de salud nacional e internacional debido a su prevalencia y toxicidad.

La exposición crónica a fuentes de abastecimiento de agua contaminada con concentraciones elevadas de arsénico ha sido asociada con efectos nocivos a la salud como la incidencia de enfermedades neurológicas, cardiovasculares, respiratorias, y cardiometabólicas (por ejemplo, dislipidemias, enfermedad del hígado graso no alcohólico, infarto agudo al miocardio, accidente cerebrovascular isquémico, hipertensión arterial, obesidad, diabetes tipo II), así como carcinogenicidad. Se tiene como principal mecanismo de daño al estrés oxidativo celular, que induce inestabilidad genómica, afecta al ADN y sus mecanismos de reparación, produce disfunción de los telómeros y del ciclo de arresto celular (mitosis), muerte celular y alteración genética [28], [29].

Los metales pesados juegan también un papel importante en la salud pública debido a que su presencia en fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano es cada vez mayor como reflejo de la sobreexplotación en las últimas décadas de los acuíferos. Se tiene evidencia de la presencia, en concentraciones por arriba de los límites máximos permisibles establecidos por regulaciones nacionales e internacionales, de metales como vanadio, mercurio, cromo, plomo, hierro, cobre, níquel y cobalto.



Una exposición crónica a estos contaminantes se ha relacionado principalmente con efectos toxicológicos a nivel neurológico a través del daño a las neuronas y la inhibición en la función de los neurotransmisores, principalmente. Los metales pesados pueden provocar dos tipos de daño a nivel celular: uno directo, a través de la modificación o cambio conformacional de las estructuras de las biomoléculas como las proteínas y el ADN; otro indirecto, que se relaciona con el estrés oxidativo celular provocado por la sobreproducción de radicales libres, a través de la reacción de Fenton, que promueven el daño al ADN, el agotamiento de las reservas de glutatión reducido (GSH), la peroxidación lipídica, mutagenicidad y carcinogénesis [30].

Por otra parte, el consumo de agua contaminada también ha sido relacionado con patologías gastroentéricas inducidas por microorganismos oportunistas como bacterias (*Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio* spp., *Escherichia coli*, *Helicobacter pylori*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, *Mycobacteria*, *Aeromonas hydrophila*, *Klebsiella pneumoniae*, *Campylobacter*), protozoos (*Acanthamoeba*, *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*), y virus (rotavirus, adenovirus, coronavirus, hepatovirus), los cuales representan un problema de salud pública [31], [32], [33], [34].

Respecto a los contaminantes emergentes, que pueden ser de creación reciente o pasada, para los cuales no existen regulaciones sobre su presencia en agua y cuyos efectos nocivos o tóxicos se han identificado recientemente o no hay evidencia suficiente sobre su impacto para la salud humana y ambiental, es importante mencionar que normalmente se encuentran en agua superficial, subterránea y de desecho en concentraciones muy pequeñas en el orden de los nanogramos por litro (ng/L) o microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ). Una exposición a largo plazo a estos contaminantes puede afectar negativamente la salud de los ecosistemas. Además, dichos contaminantes se pueden bioacumular y biomagnificar en la cadena alimentaria, lo que representa una amenaza para la vida marina y terrestre.

Los contaminantes emergentes son principalmente derivados de la producción de productos para el cuidado y la higiene personal (dentífricos, detergentes, jabones, champús, antitranspirantes, bloqueadores solares), medicamentos o compuestos farmacéuticamente activos (analgésicos, antiinflamatorios no esteroideos y esteroideos, antibióticos, estupefacientes, hormonas,





anticonvulsivos), productos químicos industriales (plastificantes y retardantes de fuego) y pesticidas (herbicidas, organoclorados, organofosforados y carbamatos). Su origen se da a través lixiviados de rellenos sanitarios, efluentes de plantas tratadoras de agua, efluentes de centros de salud, hospitales e industrias farmacéuticas, y aguas residuales domésticas, industriales, así como aquellas generadas por actividades relacionadas con la ganadería y la agricultura [8], [35].

Por ejemplo, el triclosán es un ingrediente primario de varios productos de higiene personal debido a sus propiedades antisépticas y antibacterianas que por sí mismo no ha sido asociado con efectos indeseados en humanos, pero sí para la vida acuática. Además, derivado de la degradación fotoquímica o microbiológica del triclosán se pueden generar toxinas (dioxinas). Asimismo, cuando dicho ingrediente se combina con el cloro que se encuentra en el agua potable, se produce cloroformo, cuyo principal efecto adverso es la carcinogénesis en humanos y animales [36].

Los ftalatos son utilizados para la síntesis de plásticos como el tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés) y los perfluoroalquilos (PFAS, por sus siglas en inglés) que son ampliamente utilizados para el desarrollo de telas impermeables, protectores de alfombras y telas, revestimientos antiadherentes de cacerolas y ollas, cosméticos y productos de limpieza, y algunas sustancias farmacológicamente activas. Este tipo de compuestos ha sido relacionado con la interferencia en el crecimiento y la reproducción de los animales incluso a niveles bajos de exposición, ya que actúan como hormonas que se unen a receptores bloqueando o imitando la función normal de las hormonas endógenas y, por tanto, son consideradas como disruptores endócrinos y pueden promover la aparición de enfermedades como obesidad, diabetes, infertilidad y cáncer de mama [37].

Respecto a los fármacos, son el grupo de sustancias químicas más utilizado alrededor del mundo, tanto para el tratamiento, prevención y diagnóstico de enfermedades, como para fines de nutrición en humanos. También son ampliamente empleados en áreas como la ganadería y la acuicultura, ya que ayudan a evitar la propagación o a reducir las enfermedades entre los animales, así como a inducir el aumento de su masa [38]. Sin embargo, no existen regulaciones que limiten su presencia en efluentes. Por ello, recientemente han sido detectados en cuerpos de agua en



cantidades traza. Debido a su producción indiscriminada por parte de empresas farmacéuticas, legales e ilegales, por su mal uso y disposición final inadecuada, algunos fármacos (hormonas, antibióticos, analgésicos, antiinflamatorios, antidepresivos, tranquilizantes y estimulantes) representan ya una amenaza para el ecosistema acuático. También lo son para la biodiversidad y la población en general, a causa de la contaminación de las fuentes de agua dulce y su ingreso en la cadena alimenticia [39].

Actualmente, no existe evidencia concluyente sobre los efectos toxicológicos de productos farmacéuticos o de sus metabolitos por la exposición a fuentes de agua contaminada con ellos. No obstante, algunos de los efectos crónicos reportados en organismos acuáticos para los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) incluyen estrés oxidativo celular, efectos teratogénicos, genotoxicidad, infertilidad, afecciones neurológicas y alteración endócrina [40].

### **Otros factores que influyen en la calidad del agua durante su distribución**

Se puede determinar que existen diferentes factores que influyen en la degradación de la calidad del agua durante su distribución, incluyendo la presencia de organismos (microorganismos y organismos invertebrados), desinfectantes (sustancias cloradas), disponibilidad de materia orgánica (nutrientes), condiciones fisicoquímicas (temperatura, luz UV, pH) y el estado físico o condición del sistema de tubería de la red hidráulica. Por lo tanto, es muy importante desarrollar nuevas estrategias para mejorar la calidad del agua durante su distribución con el objetivo de prevenir un crecimiento acelerado de patógenos y reducir la presencia de compuestos tóxicos que generen efectos secundarios en los consumidores y puedan provocar intoxicaciones [31], [41].





**Figura 2. Ilustración del abastecimiento de agua potable a través de una red hidráulica local en malas condiciones que promueve la contaminación y degradación de la calidad del agua (imagen obtenida por Microsoft Designer).**

Por otro lado, el consumo de agua se ha incrementado durante el último siglo. Esto se deriva del crecimiento de la tasa poblacional mundial, que genera una demanda exacerbada del suministro de agua. Las consecuencias son, por un lado, la sobreexplotación de los acuíferos, por otro, la movilización y exposición de los humanos a minerales geogénicos como metales pesados, metaloides y halógenos [42], [43]. Por ejemplo, un estudio de 10 años realizado en el estado de Aguascalientes, México, reportó que cerca del 73.7 % del agua subterránea extraída es utilizada en la agricultura y ganadería, solo el 22.3 % para uso público y el resto para actividades industriales y de servicios. Además, se reportó que el acuífero del Valle de Aguascalientes ha sido sobreexplotado durante las últimas décadas, lo que provocó la infiltración de contaminantes entre los cuales destaca la presencia de fluoruros, arsénico, mercurio, cromo, hierro, manganeso y plomo por encima de los niveles máximos permisibles por la NOM-127-SSA1-2021. Estos contaminantes fueron identificados en 60 pozos distribuidos en 10 municipios del mismo estado [44].

Un estudio reciente en el acuífero del Valle de Celaya, en el estado de Guanajuato, demostró la presencia de arsénico (0.54 mg/L) y flúor (3.2 mg/L) por arriba de los límites máximos permisibles por regulaciones nacionales. Este resultado se asoció a la sobreexplotación del acuífero durante los últimos 50 años. Se encuentra sobre una de las áreas agrícolas e industriales más importantes del centro de México, lo que ha llevado a una extracción cada vez más profunda y a la consecuente movilización y exposición de dichos contaminantes [45].

Por otro lado, es importante considerar que la calidad del agua subterránea y superficial también se puede ver afectada por desastres ambientales de origen antropogénico como la minería. Por ejemplo, el caso ocurrido en el año 2014 en la mina Buenavista del Cobre, ubicada en el municipio de Cananea, del estado de Sonora, México, considerado como uno de los desastres ambientales de mayor impacto. Se derramaron aproximadamente 40 000 metros cúbicos de sulfato de cobre acidulado sobre el arroyo Tinajas, lo que contaminó los ríos Sonora y Bacanuchi, así como la presa El Molinito, que abastece de agua a la ciudad de Hermosillo, Sonora [46].

Por lo tanto, es muy importante desarrollar u optimizar métodos para una remoción sostenible y eficiente de dichos agentes tóxicos de fuentes de agua potable y efluentes industriales. El desarrollo de tecnologías para el tratamiento y purificación de agua es uno de los principales retos que tiene nuestra sociedad, en particular, para las comunidades más vulnerables que usualmente tiene un mayor riesgo a la exposición a contaminantes afectando significativamente su calidad de vida.

## **CONCLUSIÓN**

La sobrepoblación mundial ha causado un incremento en la demanda de agua, alimentos, productos de higiene personal, medicamentos, ropa, muebles, materiales para construcción, vehículos, baterías, por mencionar algunos. Estos, a su vez, han provocado la sobreexplotación de los acuíferos (agua subterránea) y la alta demanda de productos o precursores obtenidos a partir de la minería, agricultura, ganadería e industria (química, petroquímica, mecánica, automotriz, electrónica, alimentaria, etc.).

Este contexto genera una gran cantidad de sustancias químicas de origen natural o artificial que han sido utilizadas para la intensificación de los procesos involucrados en la obtención y el





mejoramiento de los principales productos de alta demanda a nivel mundial. Sin embargo, a causa de ello se ha incrementado también la disponibilidad y exposición a sustancias o agentes tóxicos a través de fuentes de abastecimiento de agua, a los cuales natural o normalmente no deberían estar expuestos los organismos vivos. Particularmente, la presencia de pesticidas, plastificantes, fármacos y metales pesados en agua subterránea, y que se deriva de actividades antropogénicas, ya representa un problema de salud pública que crece en importancia.

Por tanto, su uso, regulación, y remoción de los acuíferos son temas de interés entre la comunidad científica, médica y política nacional e internacional, debido al incremento de evidencia que relaciona la exposición directa e indirecta a dichos contaminantes a través del consumo de agua con la incidencia y prevalencia de enfermedades agudas y crónicas en México y el mundo que ponen en riesgo la vida humana, así como la salud de los ecosistemas. Así pues, es imprescindible la promoción de leyes y regulaciones que ayuden a limitar el uso y desecho de sustancias que representan una amenaza para la salud pública y del medioambiente. Además, es necesario realizar una actualización a la NOM-127-SSA1-1994 que regula y limita la presencia de sustancias tóxicas en agua potable destinada para el uso y consumo humano [14], pues la última modificación registrada fue en noviembre de 2000 y no considera muchos contaminantes emergentes ya reportados en las guías de calidad del agua para beber publicadas por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) para los cuales ya se han demostrado efectos nocivos para la salud de los humanos [1], [17].

Por otro lado, también es importante revisar y actualizar la NOM-014-CONAGUA-2003 (Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada) que enlista y limita una serie de contaminantes no regulados por norma en aguas residuales destinadas a la recarga artificial de acuíferos. Aún existen muchas sustancias consideradas contaminantes emergentes como fármacos, retardantes de fuego, pesticidas y plastificantes que no están incluidas en dicha norma y que representan un potencial riesgo toxicológico para la población expuesta [47].

Por último, se deben desarrollar actividades científicas que ayuden a mejorar los métodos de remoción de agentes tóxicos en cuerpos de agua evitando la transferencia a otros medios, mitigar



la contaminación y mejorar las condiciones ambientales que promuevan la salud pública local, estatal y nacional en México.

## REFERENCIAS

- [1] WHO, *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. Geneva: World Health Organization, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- [2] S. Sauvé y M. Desrosiers, "A review of what is an emerging contaminant", *Chemistry Central Journal*, vol. 8, n.º 1, p. 15, dic. 2014, doi: 10.1186/1752-153X-8-15.
- [3] S. Heidrich, M. Schirmer, H. Weiss, P. Wycisk, J. Grossmann, y A. Kaschl, "Regionally contaminated aquifers - toxicological relevance and remediation options (Bitterfeld case study)", *Toxicology*, vol. 205, n.º 3, pp. 143-155, dic. 2004, doi: 10.1016/j.tox.2004.06.055.
- [4] P. H. P. Stefano, A. Roisenberg, M. R. Santos, M. A. Dias, y C. C. Montagner, "Unraveling the occurrence of contaminants of emerging concern in groundwater from urban setting: A combined multidisciplinary approach and self-organizing maps", *Chemosphere*, vol. 299, p. 134395, jul. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134395.
- [5] C. J. Vörösmarty *et al.*, "Global threats to human water security and river biodiversity", *Nature*, vol. 467, n.º 7315, pp. 555-561, sep. 2010, doi: 10.1038/nature09440.
- [6] J. W. Tracy, A. Guo, K. Liang, J. Bartram, y M. Fisher, "Sources of and Solutions to Toxic Metal and Metalloid Contamination in Small Rural Drinking Water Systems: A Rapid Review", *IJERPH*, vol. 17, n.º 19, p. 7076, sep. 2020, doi: 10.3390/ijerph17197076.
- [7] M. Rigoletto, P. Calza, E. Gaggero, y E. Laurenti, "Hybrid materials for the removal of emerging pollutants in water: classification, synthesis, and properties", *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 10, p. 100252, may 2022, doi: 10.1016/j.cej.2022.100252.
- [8] R. K. Mishra, S. S. Mentha, Y. Misra, y N. Dwivedi, "Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research", *Water-Energy Nexus*, vol. 6, pp. 74-95, dic. 2023, doi: 10.1016/j.wen.2023.08.002.
- [9] V. K. Parida, D. Saidulu, A. Majumder, A. Srivastava, B. Gupta, y A. K. Gupta, "Emerging contaminants in wastewater: A critical review on occurrence, existing legislations, risk assessment, and sustainable treatment alternatives", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, n.º 5, p. 105966, oct. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105966.
- [10] P. Kovalakova, L. Cizmas, T. J. McDonald, B. Marsalek, M. Feng, y V. K. Sharma, "Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review", *Chemosphere*, vol. 251, p. 126351, jul. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126351.
- [11] EPA, "Drinking Water Health Advisories for PFOA and PFOS", Environmental Protection Agency, EPA 800-F-16-003, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/drinkingwaterhealthadvisories\\_pfoa\\_pfos\\_updated\\_5.31.16.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/drinkingwaterhealthadvisories_pfoa_pfos_updated_5.31.16.pdf)
- [12] ATSDR, "Malathion", Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Fact Sheet, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts154.pdf>





- [13] EPA, "National Primary Drinking Water Regulations", Environmental Protection Agency, EPA 816-F-09-004, 2009. [En línea]. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/npwdr\\_complete\\_table.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf)
- [14] Secretaría de Salud, "NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", Secretaría de Salud, Ciudad de México, Diario Oficial de la Federación, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5650705](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5650705)
- [15] EPA, "Phthalates", Environmental Protection Agency, Action Plan, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/phthalates\\_actionplan\\_revised\\_2012-03-14.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/phthalates_actionplan_revised_2012-03-14.pdf)
- [16] EPA, "Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)", Environmental Protection Agency, Fact Sheet EPA 505-F-17-015, 2017. [En línea]. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet\\_contaminant\\_perchlorate\\_january2014\\_final\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet_contaminant_perchlorate_january2014_final_0.pdf)
- [17] WHO, *Guidelines for drinking-water quality: small water supplies*. World Health Organization, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240088740>
- [18] L. E. Armstrong y G. L. Guo, "Understanding Environmental Contaminants' Direct Effects on Non-alcoholic Fatty Liver Disease Progression", *Current Environmental Health Reports*, vol. 6, n.º 3, pp. 95-104, sep. 2019, doi: 10.1007/s40572-019-00231-x.
- [19] C. R. Kothapalli, "Differential impact of heavy metals on neurotoxicity during development and in aging central nervous system", *Current Opinion in Toxicology*, vol. 26, pp. 33-38, jun. 2021, doi: 10.1016/j.cotox.2021.04.003.
- [20] C. C. Thomas, A. C. Nsonwu-Anyanwu, C. A. O. Usoro, E. S. Agoro, y A. N. Idenyi, "Hepato-renal toxicities associated with heavy metal contamination of water sources among residents of an oil contaminated area in Nigeria", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 212, p. 111988, abr. 2021, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.111988.
- [21] E. Habeeb *et al.*, "Role of environmental toxicants in the development of hypertensive and cardiovascular diseases", *Toxicology Reports*, vol. 9, pp. 521-533, ene. 2022, doi: 10.1016/j.toxrep.2022.03.019.
- [22] A. Popov Aleksandrov *et al.*, "Immunomodulation by heavy metals as a contributing factor to inflammatory diseases and autoimmune reactions: Cadmium as an example", *Immunology Letters*, vol. 240, pp. 106-122, dic. 2021, doi: 10.1016/j.imlet.2021.10.003.
- [23] V. Naffaa, O. Laprèvote, y A.-L. Schang, "Effects of endocrine disrupting chemicals on myelin development and diseases", *NeuroToxicology*, vol. 83, pp. 51-68, mar. 2021, doi: 10.1016/j.neuro.2020.12.009.
- [24] S. G. Danby *et al.*, "The Effect of Water Hardness on Surfactant Deposition after Washing and Subsequent Skin Irritation in Atopic Dermatitis Patients and Healthy Control Subjects", *Journal of Investigative Dermatology*, vol. 138, n.º 1, pp. 68-77, ene. 2018, doi: 10.1016/j.jid.2017.08.037.
- [25] H. A. González-Ponce, A. R. Rincón-Sánchez, F. Jaramillo-Juárez, y H. Moshage, "Natural Dietary Pigments: Potential Mediators against Hepatic Damage Induced by Over-The-Counter Non-Steroidal Anti-Inflammatory and Analgesic Drugs", *Nutrients*, vol. 10, n.º 2, 2018, doi: 10.3390/nu10020117.
- [26] T. Wang, L. Wang, Q. Chen, N. Kalogerakis, R. Ji, y Y. Ma, "Interactions between microplastics



- and organic pollutants: Effects on toxicity, bioaccumulation, degradation, and transport”, *Science of The Total Environment*, vol. 748, p. 142427, dic. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142427.
- [27] P. Pal *et al.*, “Molecular basis of fluoride toxicities: Beyond benefits and implications in human disorders”, *Genes & Diseases*, vol. 10, n.º 4, pp. 1470-1493, jul. 2023, doi: 10.1016/j.gendis.2022.09.004.
- [28] F. González-Martínez, B. Johnson-Restrepo, y L. A. Quiñones, “Arsenic inorganic exposure, metabolism, genetic biomarkers and its impact on human health: A mini-review”, *Toxicology Letters*, vol. 398, pp. 105-117, jul. 2024, doi: 10.1016/j.toxlet.2024.06.008.
- [29] P. Bhattacharjee, M. Banerjee, y A. K. Giri, “Role of genomic instability in arsenic-induced carcinogenicity. A review”, *Environment International*, vol. 53, pp. 29-40, mar. 2013, doi: 10.1016/j.envint.2012.12.004.
- [30] J. Briffa, E. Sinagra, y R. Blundell, “Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans”, *Heliyon*, vol. 6, n.º 9, p. e04691, sep. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691.
- [31] E. I. Prest, F. Hammes, M. C. M. van Loosdrecht, y J. S. Vrouwenvelder, “Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges”, *Front. Microbiol.*, vol. 7, feb. 2016, doi: 10.3389/fmicb.2016.00045.
- [32] H. Li, C. Smith, L. Wang, Z. Li, C. Xiong, y R. Zhang, “Combining Spatial Analysis and a Drinking Water Quality Index to Evaluate Monitoring Data”, *IJERPH*, vol. 16, n.º 3, p. 357, ene. 2019, doi: 10.3390/ijerph16030357.
- [33] H. Wang, M. A. Edwards, J. O. Falkinham, y A. Pruden, “Probiotic Approach to Pathogen Control in Premise Plumbing Systems? A Review”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, n.º 18, pp. 10117-10128, sep. 2013, doi: 10.1021/es402455r.
- [34] J. Wingender y H.-C. Flemming, “Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens”, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 214, n.º 6, pp. 417-423, nov. 2011, doi: 10.1016/j.ijheh.2011.05.009.
- [35] G. Singh, A. Singh, y V. Kumar Mishra, “A critical review of occurrence, sources, fate, ecological risk, and health effect of emerging contaminants in water and wastewater”, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, p. 100994, sep. 2024, doi: 10.1016/j.enmm.2024.100994.
- [36] G. Nandikes, P. Pathak, A. S. Razak, V. Narayanamurthy, y L. Singh, “Occurrence, environmental risks and biological remediation mechanisms of Triclosan in wastewaters: Challenges and perspectives”, *Journal of Water Process Engineering*, vol. 49, p. 103078, oct. 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.103078.
- [37] T. M. Tri *et al.*, “Emerging Endocrine Disrupting Chemicals and Pharmaceuticals in Vietnam: A Review of Environmental Occurrence and Fate in Aquatic and Indoor Environments”, en *Persistent Organic Chemicals in the Environment: Status and Trends in the Pacific Basin Countries II Temporal Trends*, vol. 1244, 0 vols., en ACS Symposium Series, no. 1244, vol. 1244. American Chemical Society, 2016, pp. 223-253. doi: 10.1021/bk-2016-1244.ch010.
- [38] P. Chinnaiyan, S. G. Thampi, M. Kumar, y K. M. Mini, “Pharmaceutical products as emerging contaminant in water: relevance for developing nations and identification of critical compounds for Indian environment”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, n.º 5, p. 288, abr. 2018,



- doi: 10.1007/s10661-018-6672-9.
- [39] B. M. Sharma *et al.*, "Health and ecological risk assessment of emerging contaminants (pharmaceuticals, personal care products, and artificial sweeteners) in surface and groundwater (drinking water) in the Ganges River Basin, India", *Science of The Total Environment*, vol. 646, pp. 1459-1467, ene. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.235.
- [40] K. Świacka, A. Michnowska, J. Maculewicz, M. Caban, y K. Smolarz, "Toxic effects of NSAIDs in non-target species: A review from the perspective of the aquatic environment", *Environmental Pollution*, vol. 273, p. 115891, mar. 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2020.115891.
- [41] M. Sousi *et al.*, "Multi-parametric assessment of biological stability of drinking water produced from groundwater: Reverse osmosis vs. conventional treatment", *Water Research*, vol. 186, p. 116317, nov. 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.116317.
- [42] R. T. Wilkin, T. R. Lee, D. G. Beak, R. Anderson, y B. Burns, "Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc smelting facility", *Applied Geochemistry*, vol. 89, pp. 255-264, feb. 2018, doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.12.011.
- [43] A. Malek, G. R. Rao, y T. Thomas, "Waste-to-wealth approach in water economy: The case of beneficiation of mercury-contaminated water in hydrogen production", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, n.º 52, pp. 26677-26692, jul. 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.05.133.
- [44] F. J. A. Avelar González, E. M. Ramírez López, Ma. C. Martínez Saldaña, A. L. Guerrero Barrera, F. Jaramillo Juárez, y J. L. Reyes Sánchez, "Water Quality in the State of Aguascalientes and its Effects on the Population's Health", en *Water Resources in Mexico: Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management, and Policy*, Ú. Oswald Spring, Ed., Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, pp. 217-229. doi: 10.1007/978-3-642-05432-7\_16.
- [45] B. S. Amézaga-Campos, R. Villanueva-Estrada, A. Carrillo-Chavez, J. I. Morales-Arredondo, y J. Morán-Ramírez, "Hydrogeochemistry characterization of an overexploited municipal, agricultural, and industrial aquifer, central Mexico", *Applied Geochemistry*, vol. 142, p. 105310, jul. 2022, doi: 10.1016/j.apgeochem.2022.105310.
- [46] A. T. Aparicio y P. de J. Hernández Canales, "Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, vol. 2017, n.º 93, pp. 126-139, ago. 2017, doi: 10.14350/rig.54770.
- [47] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, Diario Oficial de la Federación, 2009. [En línea]. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5105753](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5105753)

#### Cómo citar este artículo:

González-Ponce, H. A., & Bonilla-Petriciolet, A. (2025). Contaminantes presentes en agua y su potencial impacto en la salud. *EPISTEMUS*, 19(38), e3811407. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i38.407>

