

Contaminantes emergentes: una amenaza invisible en el agua que bebemos

En nuestra vida cotidiana utilizamos una gran variedad de productos que, sin saberlo, dejan una huella invisible en el medio ambiente. Medicamentos, cosméticos, plásticos, productos de limpieza e incluso restos de pesticidas, al ser desechados o eliminados por el cuerpo, terminan llegando a cuerpos de agua a través del drenaje, la agricultura o la industria. Estos compuestos químicos son conocidos como "contaminantes emergentes".

En las últimas décadas, la creciente presencia de contaminantes emergentes en los recursos hídricos ha encendido las alertas de la comunidad científica y de organismos de salud pública en todo el mundo.

Por un lado, las consecuencias de estos compuestos aún no están plenamente contempladas por las leyes ambientales. Por otro, un aspecto preocupante de la problemática es que los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas no están diseñados para eliminarlos completamente, lo que permite su acumulación en ríos, lagos, acuíferos e incluso en el agua potable, por lo que generan un creciente riesgo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

Los efectos biológicos de los contaminantes emergentes pueden ser significativos, sobre todo cuando actúan como **disruptores endócrinos**, es decir, sustancias que interfieren con el sistema hormonal de los seres vivos. La exposición prolongada a estos compuestos se ha vinculado con efectos graves tanto en humanos como en animales.

Una presencia global, un desafío local

A nivel internacional, múltiples estudios han detectado crecientes cantidades de contaminantes emergentes en ríos, lagos, acuíferos e incluso en el agua potable. En México, investigaciones recientes revelan la presencia de sustancias como el diclofenaco, la carbamazepina, el sulfametoxazol, Bisfenol A, nonilfenoles, así como diversos antibióticos tanto en aguas superficiales como subterráneas.

[En un estudio en el Valle del Mezquital](#) —zona de recarga artificial con aguas residuales provenientes de la Ciudad de México— se detectaron hasta 23 fármacos activos en aguas subterráneas. Adicionalmente, un análisis reciente identificó que [en cuerpos de agua como los canales de Xochimilco y el río Apatlaco](#) en Cuernavaca se superaron con creces los límites internacionales para contaminantes como triclosán, Bisfenol A y el estrógeno sintético EE2 o etinilestradiol, que se encuentra en píldoras anticonceptivas y que llega al agua a través de la orina y las aguas residuales.

[Un estudio realizado en Delhi, India](#), encontró niveles sorprendentemente altos de diclofenaco —un analgésico común— en el agua subterránea, alcanzando hasta 1.3 miligramos por litro. Esto revela lo serio que puede llegar a ser el problema de la contaminación por medicamentos: lo preocupante es que el agua subterránea tiene menos capacidad oxidativa por lo que le toma más tiempo para descomponer este tipo de compuestos que el agua de ríos o lagos.



Efectos en la salud humana y los ecosistemas

Uno de los aspectos más inquietantes de estos compuestos es su capacidad para alterar la actividad biológica, incluso en concentraciones extremadamente bajas, a menudo en niveles de nanogramos por litro. Cantidades pequeñas de **disruptores endócrinos** como el Bisfenol A, los ftalatos o las hormonas sintéticas pueden alterar el equilibrio hormonal tanto en humanos como en fauna acuática. Se han documentado casos de cambios hormonales en fauna marina expuesta a efluentes urbanos, así como disminución en la fertilidad y alteraciones en el comportamiento reproductivo de anfibios.

En el plano humano, existe evidencia de que la exposición prolongada a estas sustancias se asocia con problemas neurológicos, inmunológicos y reproductivos, algunos ejemplos:

Por ejemplo, el Bisfenol A o BPA, presente en plásticos y recubrimientos de latas se ha asociado con alteraciones en el desarrollo fetal, disfunción tiroidea, trastornos metabólicos como la obesidad, e incluso con un mayor riesgo de cáncer de mama y de próstata. Respecto a las afectaciones a nivel neurológico, el BPA ha sido vinculado con trastornos del comportamiento como ansiedad, impulsividad y falta de concentración y atención.

Los ftalatos, usados en cosméticos y plásticos flexibles, pueden afectar la salud reproductiva: provocan malformaciones genitales en bebés varones, disminuyen la calidad espermática y están vinculados con pubertad precoz en niñas. Adicionalmente, se han asociado con un menor coeficiente intelectual (IQ) y un mayor riesgo de trastornos de aprendizaje en la infancia.

Los parabenos, usados comúnmente como conservadores en productos cosméticos y de cuidado personal debido a sus propiedades antimicrobianas, imitan el estrógeno, lo que puede alterar el sistema hormonal. Su presencia en tejidos de tumores mamarios ha despertado preocupación sobre su posible relación con el cáncer de mama. Estas sustancias podrían estar relacionadas con una mayor susceptibilidad a infecciones y con el desarrollo de enfermedades autoinmunes.

Los microplásticos, partículas de menos de 5 mm generadas por el uso masivo de plásticos en nuestra vida diaria y su fragmentación, contaminan nuestro entorno. Estos ingresan al ser humano principalmente a través de la ingestión de alimentos y agua contaminados, así como por la inhalación de partículas en el aire. [Según una revisión, América Latina enfrenta un riesgo elevado](#) debido a la falta de infraestructuras adecuadas para el tratamiento de aguas residuales y la creciente presencia de microplásticos en los ecosistemas acuáticos.

Estudios recientes han detectado microplásticos en la sangre humana, la leche materna, e incluso en placentas, lo que sugiere que estas partículas están penetrando barreras fisiológicas fundamentales. Aunque todavía se investiga su efecto directo en la salud, se sabe que pueden actuar como vehículos de contaminantes químicos como metales pesados o **disruptores endócrinos** adheridos a su superficie. Además, al ingresar al cuerpo, pueden inducir inflamación, estrés oxidativo y daño celular, efectos que podrían contribuir a enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales o incluso a procesos cancerígenos a largo plazo.

Muchas de estas sustancias llegan a ríos y acuíferos a través de aguas residuales, donde permanecen activas. Este entorno favorece la aparición de bacterias resistentes, que aprenden a sobrevivir a los tratamientos actuales. Las implicaciones de este fenómeno son alarmantes, ya que la propagación de bacterias resistentes no solo compromete la efectividad de los antibióticos en el



tratamiento de infecciones humanas y animales, sino que también pone en riesgo la salud pública y la seguridad alimentaria, aumentando la posibilidad de brotes de infecciones resistentes y complicando las estrategias de prevención y tratamiento.

Según la Organización Mundial de la Salud, la resistencia antimicrobiana es ya una de las principales amenazas para la salud pública global, con el potencial de causar hasta 10 millones de muertes al año para 2050. En varios estudios se han detectado cepas resistentes en entornos acuáticos. Las situaciones extremas, como las guerras y pandemias, [pueden acelerar el problema de la resistencia antimicrobiana, dificultando aún más su control](#).

Los contaminantes emergentes no solo afectan la biodiversidad y salud humana, sino también la economía. La alteración de las cadenas tróficas acuáticas puede reducir la pesca local, y la percepción de aguas contaminadas afecta negativamente al turismo en zonas naturales. Por ejemplo, en el lago Chapala y otros cuerpos de agua en México, la percepción de contaminación ha derivado en pérdidas económicas para comunidades ribereñas que dependen de estos ecosistemas.

¿Qué podemos hacer?

Frente a este panorama, urge fomentar más investigación interdisciplinaria para detectar, cuantificar y entender los efectos de estos contaminantes. Asimismo, es necesario actualizar los marcos regulatorios para incorporar límites y mecanismos de monitoreo para sustancias emergentes. También se requiere una mejora en los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías avanzadas como membranas de nanofiltración y ultrafiltración, adsorbentes basados en materiales sostenibles (biochar sintético), ozonización o proceso de oxidación avanzada.

A nivel social, debe promoverse una cultura de consumo y desecho responsable: evitar tirar medicamentos por el inodoro o la tarja, reducir el uso de plásticos y optar por productos de cuidado personal libres de sustancias nocivas son acciones al alcance de todos. Por ejemplo, se puede preferir el uso de shampoos, jabones y desodorantes etiquetados como “libres de parabenos” o “sin triclosán”, ya que estos compuestos suelen estar asociados con efectos tóxicos en organismos acuáticos.

Los contaminantes emergentes representan una amenaza real, aunque invisible, para la salud de las personas y los ecosistemas. Si bien sus concentraciones suelen ser bajas, sus efectos acumulativos pueden ser significativos. No podemos proteger lo que no podemos ver, pero sí podemos actuar con base en la evidencia científica existente. Urge un esfuerzo coordinado entre científicos, autoridades, sector privado y ciudadanía para frenar el avance de estos compuestos y asegurar el derecho al agua limpia y segura para las generaciones presentes y futuras.

Para leer más sobre el tema:

Luis E. Lesser, Abrahan Mora, Cristina Moreau, Jürgen Mahlknecht, Arturo Hernández-Antonio, Aldo I. Ramírez, and Héctor Barrios-Piña. "Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico." *Chemosphere* 198 (2018): 510-521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.154>

Ivón Vázquez-Tapia, Tania Salazar-Martínez, Mariana Acosta-Castro, Karen Andrea Meléndez-Castolo, Jürgen Mahlknecht, Pabel Cervantes-Avilés, Mariana V. Capparelli, and Abrahan Mora. "Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico—A review." *Chemosphere* 308 (2022): 136285. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>



Carolina Orona-Návar, Raul García-Morales, Frank J. Loge, Jürgen Mahlknecht, Iris Aguilar-Hernández, and Nancy Ornelas-Soto. "Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives." *Journal of Environmental Management* 309 (2022): 114698. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114698>

Rahul Silori, Vikalp Shrivastava, Ashwin Singh, Pradeep Sharma, Marwan Aouad, Jürgen Mahlknecht, and Manish Kumar. "Global groundwater vulnerability for Pharmaceutical and Personal care products (PPCPs): The scenario of second decade of 21st century." *Journal of Environmental Management* 320 (2022): 115703. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115703>

Kumar, M., Silori, R., Mazumder, P., Shrivastava, V., Loge, F., Barceló, D., & Mahlknecht, J. (2023). Wars and pandemics: AMR accelerators of the 21st century?. *Environmental Science & Technology Letters*, 10(4), 289–291. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00020>

#

Acerca del Tecnológico de Monterrey

El Tecnológico de Monterrey (<http://www.tec.mx>) es una universidad privada y sin fines de lucro, reconocida por su excelencia académica, innovación educativa y visión global. Fue fundada en 1943 y actualmente tiene presencia en 33 municipios de 20 estados de México, cuenta con una matrícula de 62 mil estudiantes de nivel profesional y posgrado, así como más de 27 mil alumnos de preparatoria. Acreditada por la SACSCOC desde 1950. Se ubica en el puesto 184 del QS World University Rankings 2024 y en la posición 4 en América Latina según el THE (Times Higher Education) Latin America University Rankings 2023. Destaca también en empleabilidad global y programas de emprendimiento, siendo parte de redes internacionales como APRU, U21 y WUN.

Acerca de la Escuela de Ingeniería y Ciencias del Tecnológico de Monterrey

La Escuela de Ingeniería y Ciencias (EIC) del Tecnológico de Monterrey es una institución líder en la formación de ingenieros y científicos en México y América Latina. Con un enfoque en la excelencia académica, la investigación de vanguardia y la vinculación con la industria, la EIC prepara a sus estudiantes para enfrentar los desafíos del siglo XXI y convertirse en agentes de cambio en sus comunidades.

Su estrategia de investigación está enfocada en ciencia aplicada y se centra en tres núcleos principales de investigación: Salud (Aplicación de biotecnología, nanotecnología, informática y electrónica para mejorar la salud humana), Clima y Sustentabilidad (Abordaje de problemáticas ambientales como el cambio climático y la transición a energías renovables) y Transformación Industrial (Implementación de tecnologías digitales, inteligencia artificial y procesos innovadores en la fabricación y cadenas de suministro). Estos núcleos están interconectados con tres iniciativas estratégicas: la primera, dedicada a la inteligencia artificial, la segunda a la nanotecnología y la tercera a los semiconductores.

Para saber más, visite: <https://eic.tec.mx/es>

Planteamiento Original:

Contaminantes emergentes: una amenaza invisible en el agua que bebemos

Por Jürgen Mahlknecht

En las últimas décadas, la presencia de contaminantes emergentes en los recursos hídricos ha encendido las alertas de la comunidad científica y de organismos de salud pública en todo el mundo. Estos compuestos, que incluyen fármacos, productos de cuidado personal, pesticidas, microplásticos y disruptores endócrinos, no están regulados en la mayoría de las legislaciones ambientales, pero su persistencia y efectos acumulativos generan un creciente riesgo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Se trata de una amenaza silenciosa y subestimada que requiere atención inmediata mediante investigación, regulación efectiva y una mayor conciencia social.

Una presencia global, un desafío local

A nivel internacional, múltiples estudios han detectado crecientes cantidades de contaminantes emergentes en ríos, lagos, acuíferos e incluso en el agua potable. En México, investigaciones recientes revelan que sustancias como el diclofenaco, la carbamazepina, el sulfametoxazol, el bisfenol A, nonilfenoles, así como diversos antibióticos están presentes tanto en aguas superficiales como subterráneas.

En un estudio en el Valle del Mezquital —zona de recarga artificial con aguas residuales provenientes de la Ciudad de México— se detectaron hasta 23 fármacos activos en aguas subterráneas. Adicionalmente, un análisis reciente identificó que en cuerpos de agua como los canales de Xochimilco y el río Apatlaco se superaron con creces los límites internacionales para contaminantes como triclosán, bisfenol A y el estrógeno sintético EE2.

Un estudio en Delhi, India, encontró concentraciones de diclofenaco de hasta 1.3 mg/L en sistemas acuíferos, lo que subraya la gravedad de la contaminación por fármacos en aguas subterráneas. Esto es particularmente preocupante debido a la menor capacidad oxidativa del agua subterránea en comparación con el agua superficial, lo que facilita la persistencia de estos contaminantes.

Efectos en la salud humana y los ecosistemas

Uno de los aspectos más inquietantes de estos compuestos es su actividad biológica a concentraciones extremadamente bajas, a menudo en niveles de nanogramos por litro.



Disruptores endócrinos como el bisfenol A y los ftalatos pueden alterar el equilibrio hormonal tanto en humanos como en fauna acuática. Se han documentado casos de cambios hormonales en peces expuestos a efluentes urbanos, así como disminución en la fertilidad y alteraciones en el comportamiento reproductivo de anfibios.

En el plano humano, existe evidencia que vincula la exposición prolongada a estas sustancias con problemas neurológicos, inmunológicos y reproductivos.

Además, el uso intensivo de antibióticos en medicina y ganadería está favoreciendo la aparición de bacterias resistentes, uno de los mayores desafíos actuales para la salud pública global, según la Organización Mundial de la Salud.

Impacto ecológico y económico

Los contaminantes emergentes no solo afectan la biodiversidad y salud humana, sino también la economía. La alteración de las cadenas tróficas acuáticas puede reducir la pesca local, y la percepción de aguas contaminadas afecta negativamente al turismo en zonas naturales. Por ejemplo, en el lago Chapala y otros cuerpos de agua en México, la percepción de contaminación ha derivado en pérdidas económicas para comunidades ribereñas que dependen de estos ecosistemas.

¿Qué podemos hacer?

Frente a este panorama, urge fomentar más investigación interdisciplinaria para detectar, cuantificar y entender los efectos de estos contaminantes. Asimismo, es necesario actualizar los marcos regulatorios para incorporar límites y mecanismos de monitoreo para sustancias emergentes. También se requiere una mejora en los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías avanzadas como membranas de nanofiltración y ultrafiltración, adsorbentes basados en materiales sostenibles (biochar sintético), ozonización o proceso de oxidación avanzada.

A nivel social, debe promoverse una cultura de consumo y desecho responsable: evitar tirar medicamentos por el inodoro o la tarja, reducir el uso de plásticos y optar por productos de cuidado personal libres de sustancias nocivas son acciones al alcance de todos. Por ejemplo, se puede preferir el uso de shampoos, jabones y desodorantes etiquetados como “libres de parabenos” o “sin triclosán”, ya que estos compuestos suelen estar asociados con efectos tóxicos en organismos acuáticos.

Conclusión y llamado a la acción

Los contaminantes emergentes representan una amenaza real, aunque invisible, para la salud de las personas y los ecosistemas. Si bien sus concentraciones suelen ser bajas, sus efectos acumulativos pueden ser significativos. No podemos proteger lo que no podemos ver, pero sí podemos actuar con base en la evidencia científica existente. Urge un esfuerzo coordinado entre



científicos, autoridades, sector privado y ciudadanía para frenar el avance de estos compuestos y asegurar el derecho al agua limpia y segura para las generaciones presentes y futuras.

Para leer más sobre el tema:

Luis E. Lesser, Abrahan Mora, Cristina Moreau, Jürgen Mahlknecht, Arturo Hernández-Antonio, Aldo I. Ramírez, and Héctor Barrios-Piña. "Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico." *Chemosphere* 198 (2018): 510-521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.154>

Ivón Vázquez-Tapia, Tania Salazar-Martínez, Mariana Acosta-Castro, Karen Andrea Meléndez-Castolo, Jürgen Mahlknecht, Pabel Cervantes-Avilés, Mariana V. Capparelli, and Abrahan Mora. "Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico—A review." *Chemosphere* 308 (2022): 136285. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>

Carolina Orona-Návar, Raul García-Morales, Frank J. Loge, Jürgen Mahlknecht, Iris Aguilar-Hernández, and Nancy Ornelas-Soto. "Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives." *Journal of Environmental Management* 309 (2022): 114698. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114698>

Rahul Silori, Vikalp Shrivastava, Ashwin Singh, Pradeep Sharma, Marwan Aouad, Jürgen Mahlknecht, and Manish Kumar. "Global groundwater vulnerability for Pharmaceutical and Personal care products (PPCPs): The scenario of second decade of 21st century." *Journal of Environmental Management* 320 (2022): 115703. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115703>