

EL AUTOSABOTAJE AL AGUA QUE CONSUMIMOS

Denisse Fabiola González Ramírez Estancia Posdoctoral CONACYT *denisse_amr@hotmail.com*

Claudia Marissa Aguilar Melo UPIBI-IPN *cmaguilarm@ipn.mx*

Beatriz Elena Bonola Barrientos UPIITA-IPN *betybonola27@gmail.com*

Mario Fidel García Sánchez UPIITA-IPN *mgarciasan@ipn.mx*

Issis Claudette Romero Ibarra UPIITA-IPN *iromero@ipn.mx*

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)

Instituto Politécnico Nacional

Abstract

Every day, we hear people talking about water pollution and its detrimental effects on the environment through public campaigns in which we are invited to «don't waste the water». But are we aware of the biological functions of water in the human body? or why water is polluted? In this article we explore some of the biological functions of water as well as the chemical interactions of water molecules to retain contaminants. The concentrations by which pollutants are found range from grams to less than a millionth of a gram; therefore some molecules are resistant to conventional treatments. The potabilization process allows the elimination of some pollutants and pathogen microorganisms (bacteria, virus, and protozoa responsible for gastrointestinal disease), and therefore is a step of great importance for public health. As potabilization of water follows regulations regarding quality, we know that not all water pollutants are considered by the law, especially if they are in low concentrations. Therefore, we must keep our research focused on the improvement of advanced treatments capable of eliminating recalcitrant pollutants.

Keywords: water pollution, potabilization, emerging contaminants, trihalomethanes, water quality, recalcitrant pollutants, advanced treatment, NOM-127-SSA1-2021.

1. ¿Por qué tomamos agua?

Ya sea embotellada o solo hervida de un pozo o manantial, los seres humanos debemos consumir agua para mantener los procesos biológicos que nos permiten nutrirnos, movernos, respirar, reproducirnos y excretar desechos de nuestro organismo. El proceso de hidratación debe ser continuo, ya que perdemos agua de manera constante con las actividades que realizamos. Las principales rutas de pérdida de agua son los riñones, piel, respiración y tracto digestivo.

El cuerpo humano tiene un contenido de 55 % a 65 % de agua del total de la masa corporal, de la cual 2 terceras partes se encuentran dentro de las células y el resto intravascular (Jéquier y Constant, 2009; Tomas et al., 2008). Se recomienda en el caso de un adulto sedentario un consumo de:

- **2.2 L/día** en mujeres adultas
- **3.0 L/día** en hombres adultos
- **1.2 L/día** en niños de 4 a 8 años

La deshidratación afecta la estructura del cerebro, especialmente en los ventrículos laterales, y se presentan síntomas de daño en el sistema nervioso central cuando alcanza una pérdida del **5 %** del contenido de agua en el cuerpo humano (Kempton et al., 2009; Thomas et al., 2008).

2. ¿Qué hace el agua en nuestro cuerpo?

El agua dentro de nuestro organismo se encuentra libre o enlazada, se une mediante interacciones directas (puentes de hidrógeno) o indirectas (interacciones hidrófobas). Es necesaria para que las enzimas hidrolí-

cen proteínas, grasas y carbohidratos en el proceso de absorción de nutrientes, e interviene en todos los procesos genéticos para replicación de células: la traducción, la transcripción y la síntesis (Bagchi, 2013).

El agua es un medio en el cual se pueden llevar a cabo diversas reacciones químicas y biológicas gracias a su capacidad de rodear las moléculas o iones (solvatar). La solubilización de los compuestos se debe a las interacciones con el dipolo de la molécula del agua. El hecho de que los dos átomos de hidrógeno —que adquieren carga positiva al ceder un electrón al oxígeno— no estén simétricamente distribuidos alrededor del átomo de oxígeno —que adquiere carga negativa al aceptar electrones— le genera un **momento dipolar permanente** (una separación entre el centro de carga positivo y negativo en la molécula), como se muestra en la figura 1.

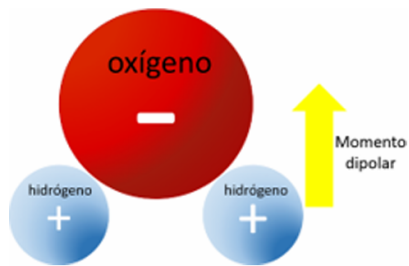


Figura 1 Representación esquemática del momento dipolar del agua.

Debido a esto, el agua forma redes donde el oxígeno atrae a los hidrógenos de otras moléculas, lo que permite atrapar moléculas dentro de la red como resultado de las interacciones hidrofílicas (atracción al agua) e incluso hidrofóbicas (repulsión al agua). El transporte de iones y biomoléculas a través de la membrana celular es esencial para que las células que componen los órganos del cuerpo humano funcionen correctamente (Jéquier y Constant, 2009; Rosinger, 2019).

3. Sustancias presentes en el agua

La problemática a la que nos enfrentamos los seres humanos como asiduos consumidores de agua es que ésta no solo disuelve moléculas que benefician al cuerpo humano como el calcio y el sodio. En el agua se pueden encontrar sustancias nocivas, y muchas de esas sustancias las introducimos con las actividades que realizamos a diario; algunas otras se encuentran presentes de manera natural en el ambiente.

De acuerdo con los registros de la Sociedad Estadounidense de Química, para abril de 2021 se tenían registradas **250 millones de sustancias químicas** descubiertas o sintetizadas por los seres humanos (Ambrose, 2021). Diversos estudios han encontrado mezclas de sustancias químicas producto de la reacción del cloro y materia orgánica, que a altas concentraciones de cloro (< 0.002 g/L) forman compuestos conocidos como **trihalometanos**, que son potencialmente más dañinos que sus precursores (Zhang y Minear, 2006; Penserini et al., 2022) (figura 2).

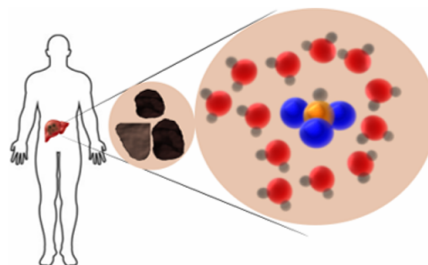


Figura 2 Cáncer de hígado asociado a la presencia de sustancias químicas carcinogénicas.

La detección de estas sustancias está limitada por la capacidad técnica analítica disponible; siendo encontradas en escala micro (10^{-6} g/L) y nano (10^{-9} g/L). Derivado del carácter heterogéneo de los contaminantes,

en el agua de consumo humano se aplican combinaciones de tratamientos físicos, químicos y biológicos para asegurar que sea potable: hacen uso de energía, temperatura, radiación, etc.; involucran reacciones químicas y emplean microorganismos para destruir o absorber los contaminantes.

4. El reto de la potabilización del agua

La palabra *potable* es un término que usamos para referirnos al agua que podemos tomar sin que posteriormente padezcamos una enfermedad. La Secretaría de Salud en México define el agua potable en la **NOM-127-SSA1-2021** como agua para uso y consumo humano que «no causa efectos nocivos a la salud y que no presenta propiedades objetables o contaminantes en concentraciones fuera de los límites permisibles y que no proviene de aguas residuales tratadas».

La definición anterior contiene conceptos que conviene observar con detenimiento. Lo deseable sería que el agua solo tuviera lo que necesita nuestro organismo para funcionar. En términos legales, el agua que llega a nuestros hogares a través de la red pública es, de hecho, potable de acuerdo con los reportes del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (De la Rosa Montiel, 2014), porque cumple con lo que la ley establece. Esto nos genera una pregunta: **¿qué pasa con lo que no está contemplado en la lista?**

En los últimos años se ha demostrado la presencia en agua de consumo humano de:

- **Tierras raras:** gadolinio (Brünjes y Hofmann, 2020).
- **Productos de cuidado personal:** jabones, cremas, cosméticos, detergentes (Vázquez-Tapia et al., 2022).
- **Productos farmacéuticos:** antibióticos, anticonvulsivantes, antivirales, quimioterapéuticos, hipoglucemiantes (de Jesus Gaffney et al., 2016; Tröger et al., 2018).
- **Sustancias ilegales:** marihuana, cocaína, heroína (Davey et al., 2022).
- **Plastificantes:** bisfenol A, ftalatos (Penserini et al., 2022).

Estas sustancias son capaces de resistir los tratamientos de purificación gracias a técnicas analíticas con límites de detección tan bajos como 10^{-15} g/L (0.000 000 000 000 001 g/L) (Brünjes y Hofmann, 2020; Davey et al., 2022; de Jesus Gaffney et al., 2016; Penserini et al., 2022; Tröger et al., 2018; Vázquez-Tapia et al., 2022; Xue et al., 2021; Yadav et al., 2021). Lo anterior ha permitido identificar alteraciones en el sistema endócrino y el riesgo de desarrollar cáncer derivado de la exposición crónica y bioacumulación de dichas sustancias (Xue et al., 2021).

Lo anterior nos deja con una reflexión acerca de la selección de productos que consumimos, la frecuencia con la que lo hacemos y cómo disponemos de ellos cuando consideramos que ya no son útiles. Si bien el proceso de fabricación involucra la generación de residuos, el producto al ser desechado también es una fuente de contaminación que, a diferencia de las empresas, no está legislada cuando los liberamos al ambiente de manera individual. Sobre todo lo que excretamos en la orina, que en el caso de los productos farmacéuticos y las sustancias ilegales no cuenta con los estándares de los metabolitos para determinar analíticamente su presencia. Por lo tanto, desconocemos la magnitud de la exposición a estas sustancias a través del agua de consumo humano, ya que muchos de sus metabolitos son capaces de resistir los tratamientos que se emplean en las plantas embotelladoras de agua.

5. En conclusión, ¿qué se está haciendo para mejorar la capacidad de remoción de contaminantes en el agua?

Actualmente, instituciones de educación superior como el IPN llevan a cabo en la UPIITA estudios para mejorar la calidad del agua mediante la optimización de filtros (Hernández, 2022) y tratamientos fotocatalíticos, sonoquímicos y electroquímicos (figura 3). Estas tres últimas técnicas son de gran interés, pues permiten degradar contaminantes que no pueden ser eliminados por los métodos convencionales de tratamiento y que se encuentran en muy bajas concentraciones.



Figura 3 Desarrollo de actividades e investigaciones realizadas en UPIITA asociadas al agua: optimización de filtros, tratamientos fotocatalíticos, sonoquímicos y electroquímicos.

El desarrollo de tecnologías con mayor capacidad de remoción de contaminantes es un proceso dinámico, ya que a medida que aumentan nuestras capacidades tecnológicas lo hace el consumo del recurso hídrico y se incrementan los contaminantes de todo tipo en el agua. De ahí la importancia de generar conciencia de que cualquiera que sea la actividad que desarrollemos estamos contribuyendo a la contaminación del agua, pero también está en nuestras manos buscar alternativas para reducir el impacto en el ambiente.

Referencias y recursos electrónicos

- [1] Ambrose, B. (12 de abril de 2021). Novel oligonucleotide with application in mRNA vaccine quality control gets 250 millionth CAS Registry Number. *CAS*. <https://www.cas.org/resource/blog/250-million-registry>
- [2] Bagchi, B. (2013). *Water in Biological and Chemical Processes: From Structure and Dynamics to Function* (Cambridge Molecular Science). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CB09781139583947>
- [3] Brünjes, R. y Hofmann, T. (2020). Anthropogenic gadolinium in freshwater and drinking water systems. *Water Research*, 182, 115966. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115966>
- [4] Davey, C.J.E., Kraak, M. H. S., Praetorius, A., ter Laak, T. L. y van Wezel, A. P. (2022). Occurrence, hazard, and risk of psychopharmaceuticals and illicit drugs in European surface waters. *Water Research*, 222, 118878. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118878>
- [5] de Jesus Gaffney, V., Mota-Filipe, H., Pinto, R. A., Thiemermann, C., Loureiro, M., Cardoso, V.V., Benoliel, M.J. y Almeida, C. M. M. (2016). Chemical and biochemical characterization and in vivo safety evaluation of pharmaceuticals in drinking water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(11), 2674--2682. <https://doi.org/10.1002/etc.3451>
- [6] De la Rosa Montiel, M. C. (2014). *El consumo del agua embotellada en el Distrito Federal y su impacto económico-social. Un enfoque institucional* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- [7] Hernández, J. (18 de abril de 2022). IPN desarrolla sistema de captación y filtración de agua de lluvia para escuelas. *Once Noticias Digital*. <https://oncenoticias.digital/agenda-ipn/cientificos-del-ipn-desarrollan-sistema-de-99061/>
- [8] Jéquier, E. y Constant, F. (2009). Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(2), 115--123. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.111>
- [9] Kempton, M.J., Ettinger, U., Schmechtig, A., Winter, E. M., Smith, L., McMorris, T., Wilkinson, I. D., Williams, S. C. R. y Smith, M. S. (2009). Effects of acute dehydration on brain morphology in healthy humans. *Human Brain Mapping*, 30(1), 291--298. <https://doi.org/10.1002/hbm.20500>
- [10] NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. (17 de diciembre de 2021). *Diario Oficial de la Federación*.

- [11] Penserini, L., Cantoni, B., Vries, D., Turolla, A., Smeets, P. W. M. H., Bokkers, B. G. H. y Antonelli, M. (2022). Quantitative chemical risk assessment for mixtures: Application to alkylphenol mixtures and phthalate mixtures in tap and bottled water. *Environment International*, 165, 107294. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107294>
- [12] Rosinger, A. Y. (2019). Biobehavioral variation in human water needs. *American Journal of Human Biology*, 32(1). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23338>
- [13] Thomas, D. R., Cote, T. R., Lawhorne, L., Levenson, S. A., Rubenstein, L. Z., Smith, D. A., Stefanacci, R. G., Tangalos, E. G. y Morley, J. E. (2008). Understanding Clinical Dehydration and Its Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, 9(5), 292--301. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2008.03.006>
- [14] Tröger, R., Klöckner, P., Ahrens, L. y Wiberg, K. (2018). Micropollutants in drinking water from source to tap -- - Method development and application of a multiresidue screening method. *Science of The Total Environment*, 627, 1404--1432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.277>
- [15] Vázquez-Tapia, I., Salazar-Martínez, T., Acosta-Castro, M., Meléndez-Castolo, K. A., Mahlkecht, 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, 136285. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>
- [16] Xue, P., Zhao, Y., Zhao, D., Chi, M., Yin, Y., Xuan, Y. y Wang, X. (2021). Mutagenicity, health risk, and disease burden of exposure to organic micropollutants in water from a drinking water treatment plant in the Yangtze River Delta, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 221, 112421. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112421>
- [17] Yadav, A., Rene, E. R., Mandal, M. K. y Dubey, K. K. (2021). Threat and sustainable technological solution for anti-neoplastic drugs pollution: Review on a persisting global issue. *Chemosphere*, 263, 128285. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128285>
- [18] Zhang, X. y Minear, R. A. (2006). Removal of low-molecular weight DBPs and inorganic ions for characterization of high-molecular weight DBPs in drinking water. *Water Research*, 40(5), 1043--1051. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.040>