

La promesa de la nanotecnología en la purificación del agua

The Promise of Nanotechnology for Water Purification

Bertin Anzaldo, René Gutiérrez y Olivia Hernández-Cruz

Resumen

La nanotecnología abre un horizonte prometedor para enfrentar uno de los mayores desafíos de nuestra época: el acceso a agua limpia y segura. Al manipular materiales en una escala diminuta (millones de veces más pequeños que un grano de arena), las nanopartículas y los nanomateriales resultan altamente eficaces para eliminar contaminantes, patógenos y metales pesados del agua. Este artículo explora los orígenes y la evolución de las tecnologías de tratamiento de agua hasta la irrupción de la nanotecnología. Aunque estos logros son cruciales, es importante considerar los retos relacionados con la seguridad, el impacto ambiental de los nanomateriales y su regulación, para garantizar un uso sostenible a largo plazo.

Palabras clave: nanotecnología, purificación del agua, sostenibilidad, retos ambientales.

Abstract

Nanotechnology opens a promising horizon for addressing one of the most significant challenges of our time: access to clean and safe water. By manipulating materials on a tiny scale (millions of times smaller than a grain of sand), nanoparticles and nanomaterials are highly effective at removing contaminants, pathogens, and heavy metals from water. This article explores the origins and evolution of water treatment technologies up to the emergence of nanotechnology. While these achievements are crucial, it is essential to consider the challenges related to their safety, environmental impact, and regulation, to ensure its sustainable long-term use.

Keywords: nanotechnology, water purification, sustainability, environmental challenges.

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO

Anzaldo, B., Gutiérrez, R., y Hernández-Cruz, O. (2026, febrero-abril). La promesa de la nanotecnología en la purificación del agua. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 27(1). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2026.27.1.4>

Bertin Anzaldo

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla, México

Químico egresado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), donde también obtuvo la maestría en Química Inorgánica y el doctorado en Química Orgánica. Su trayectoria refleja un sólido compromiso con la investigación y la formación académica en el ámbito de las ciencias químicas. Su línea de investigación se centra en la síntesis de complejos metálicos de osmio, rutenio, paladio y platino con ligantes metalocénicos, explorando su potencial en la catálisis y en la elaboración de nuevos materiales. Cuenta con amplia experiencia en química del osmio, en la síntesis de iminas y en el manejo de compuestos sensibles mediante técnicas Schlenk y de caja seca. Le interesa comprender las relaciones entre la estructura, la reactividad y la aplicación, impulsando una química más innovadora y sostenible.

 bertinanzaldo@outlook.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0667-2812>

René Gutiérrez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla, México

Profesor de tiempo completo en la BUAP, donde ha desarrollado una destacada trayectoria académica desde 1985. Doctor en Química Orgánica por la Université Pierre et Marie Curie (París, Francia), se dedica a la síntesis verde de complejos metálicos y al desarrollo sostenible de nuevos materiales. Su investigación se enfoca en el estudio de compuestos basados en iminas y aminas, explorando su potencial en la formación de complejos metálicos mediante métodos respetuosos con el medio ambiente. Le motiva comprender las relaciones entre estructura y reactividad, así como promover una química más sostenible, creativa y aplicada a los retos actuales.

 jrgutie@correo.buap.mx

 <https://orcid.org/0000-0001-8694-1802>

Olivia Hernández-Cruz

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro de Pruebas Analíticas No Destructivas, Puebla, Puebla, México

Química por la BUAP, con Maestría y Doctorado en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha realizado estancias posdoctorales en el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), en el National Heart and Lung Institute del Imperial College de Londres y actualmente en el Centro de Pruebas Analíticas No Destructivas de la BUAP. Le apasiona integrar investigación, docencia y divulgación: ha publicado sobre polímeros orientados a mejorar la salud y el medio ambiente, y disfruta acompañar el desarrollo de nuevas generaciones científicas. Sus intereses incluyen el diseño de polímeros y nanomateriales para aplicaciones biomédicas y ambientales —como membranas y nanofibras biodegradables, tratamiento de agua dura e ingeniería de tejidos—, así como la educación STEAM (del inglés, *Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics*), basada en simulaciones y aprendizaje activo, con un enfoque inclusivo hacia comunidades subrepresentadas. Su propósito es conectar la ciencia de materiales, la salud y la educación para generar un impacto social significativo.

 hecrol9@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8402-1412>

Del río al cántaro: las primeras técnicas de purificación

Si vivieras hace 3,000 años y tuvieras sed, ¿cómo purificarías el agua? A lo largo de la historia, las personas han ideado distintas maneras para limpiar el agua. Nuestros ancestros probaban de todo: desde hervirla hasta dejarla reposar bajo el sol, como si los rayos tuvieran poderes mágicos de limpieza. Durante siglos y sin herramientas de análisis como las que tenemos hoy en día, la calidad del agua se evaluaba únicamente por su transparencia y sabor.

Papiros egipcios indican que hacia el año 500 a.e.c., en Egipto ya se utilizaba alumbre para eliminar partículas suspendidas en el agua, lo que podría considerarse como uno de los primeros controles de calidad. En la India, hace más de 4000 años, el tratamiento de agua consistía en hervirla, exponerla al sol y sumergir en ella varias veces una pieza de cobre caliente; por último, se filtraba y dejaba enfriar en vasijas de barro (Jadhav, 2014).

Más tarde, en el siglo VIII a.e.c., el alquimista árabe Geber destilaba agua para preparar medicamentos y en el siglo XI el médico persa Avicena recomendaba a los viajeros filtrar el agua con un paño o hervirla antes de beberla (Hall y Dietrich, 2000).

Estas técnicas fueron útiles durante siglos, pero con el crecimiento de las ciudades y la llegada de la industrialización resultaron insuficientes. Los sistemas de purificación comenzaron a saturarse y ya no bastaban para enfrentar los contaminantes modernos. Fue entonces cuando quedó claro que las ciudades y las fábricas traían consigo nuevos contaminantes que exigían soluciones mucho más sofisticadas.

El reto del agua en la ciudad: nuevos problemas

Actualmente, los desechos industriales contienen demasiadas sustancias dañinas y contaminantes esparcidos dentro del agua. Para enfrentar este reto, se desarrollaron muchos métodos de depuración: algunos de ellos logran que los contaminantes floten en la superficie del agua (*flotación*, así como la nata que sube al calentar la leche), otros atrapan las sustancias en la superficie de un material limpiador (*adsorción*, como un imán atrayendo los contaminantes), mientras que otros más transforman los contaminantes en sedimentos mediante una reacción química (*precipitación química*).

También se han desarrollado técnicas como el *intercambio iónico*, en el que los iones contaminantes pasan por membranas especiales que los sustituyen por otros menos dañinos o inofensivos; la *coagulación y floculación*, que agrupan impurezas en partículas más grandes hasta formar bolas de suciedad fáciles de retirar; y las *membranas de filtración*, que actúan como barreras que retienen impurezas mientras que dejan pasar el agua limpia.

En cuanto a la desinfección, métodos como la *ozonización* y el uso de cloro se volvieron tratamientos habituales. El *ozono*, es una molécula formada por tres átomos de oxígeno (O_3) y es muy eficaz para eliminar bacterias, virus y otros contaminantes, pero esta alta reactividad lo hace tener un lado oscuro: puede formar compuestos secundarios tan dañinos como los contaminantes que se desean eliminar.

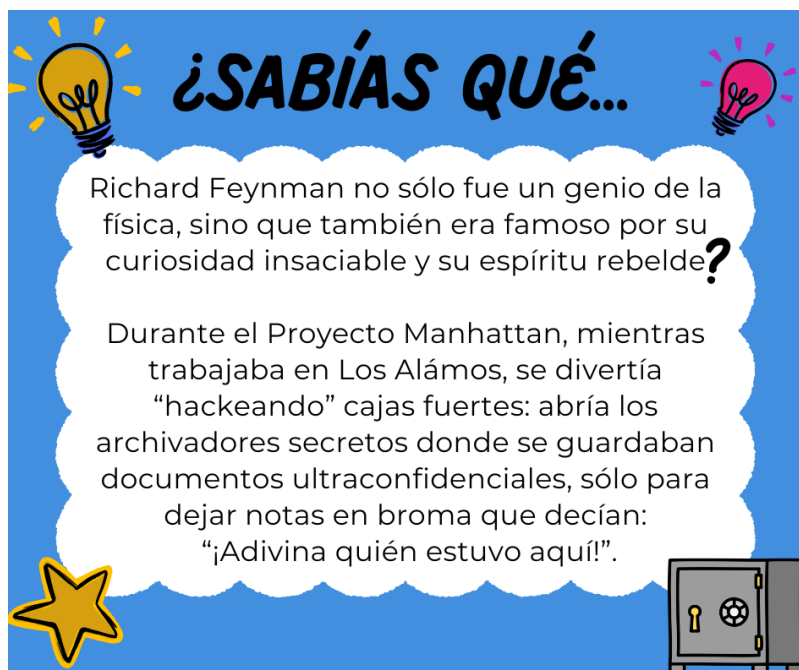
Estas limitaciones crearon una nueva pregunta: ¿existiría una forma de purificar el agua sin producir compuestos dañinos? La respuesta comenzó a llegar desde un mundo invisible: la nanotecnología.

El giro hacia la nanotecnología

Durante siglos, la humanidad apenas podía imaginar que la clave de su futuro pudiera depender de partículas tan diminutas que escapan al ojo humano. En 1959, el físico Richard Feynman lanzó una idea provocadora en su célebre conferencia *Hay mucho espacio en el fondo*: ¿qué pasaría si pudiéramos organizar los átomos uno por uno? Su visión de un mundo

construido átomo a átomo, que parecía de ciencia ficción, inspiró a generaciones de científicos, sobre todo cuando la invención del microscopio de efecto túnel permitió mirar y manipular la materia a una escala minúscula (Ball, 2009).

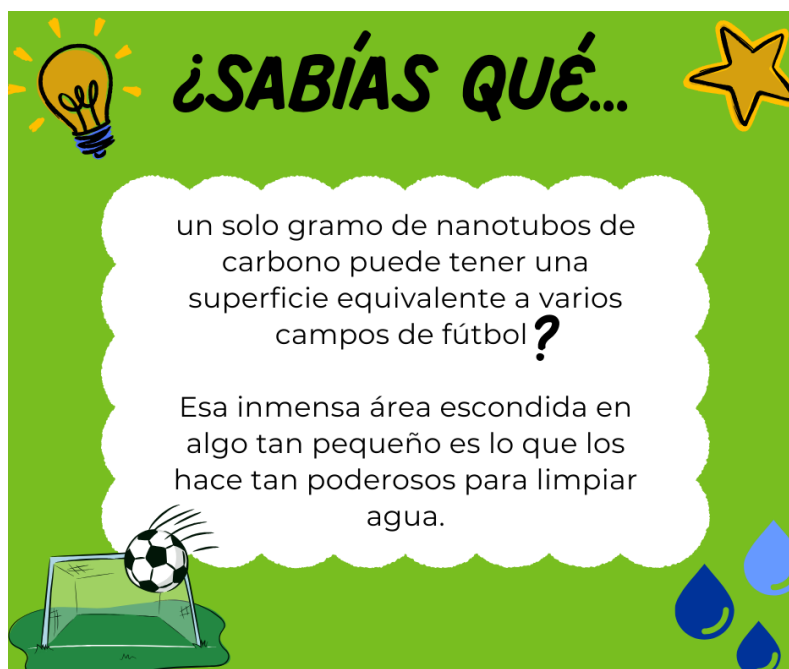
Por otro lado, en los primeros años de la década de los setenta, el profesor japonés Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio acuñó por primera vez el término *nanotecnología*, describiéndola como el arte de manipular materiales átomo por átomo o molécula por molécula (Bayda et al., 2019). Él predijo que un día seríamos capaces de diseñar y controlar materiales a una escala increíblemente diminuta, incluso más pequeña que el ancho de un cabello humano. Hoy sabemos que un *nanómetro* equivale a una millonésima parte de un metro, es decir que podríamos dividir un cabello humano en cien mil hebras. Es en este territorio casi intangible donde emergen propiedades sorprendentes.



¿Cómo algo infinitamente pequeño puede ayudarnos? La respuesta podría estar en los *nanomateriales*, diminutas estructuras capaces de actuar como filtros, catalizadores o verdaderos “superlimpiadores invisibles” (Westerhoff et al., 2016). Su poder radica en la enorme superficie escondida en su ínfimo tamaño: la superficie que queda disponible para interactuar con otras sustancias es desproporcionadamente más grande que su dimensión.

Una manera sencilla de imaginarlo es con una hoja de papel: lisa su superficie parece limitada, pero si la arrugas, la misma hoja expone muchas más zonas al aire, es decir, que su estructura logra proporcionar más contacto con el ambiente del que aparenta. Además, su superficie puede contener cargas eléctricas que cambian la forma en que interactúa con su entorno y, lo más sorprendente es que, en muchos casos, ¡los científicos pueden modificar estas propiedades a voluntad! ¿Puedes creerlo?

Estas particularidades también repercuten en su comportamiento frente al agua: mientras que algunos materiales pueden mezclarse con facilidad (*hidrofilicidad*), otros la repelen (*hidrofobicidad*). Esta dualidad abre la posibilidad de diseñar materiales que se adapten a distintas situaciones, otorgándoles un papel único en procesos como la purificación y el tratamiento de agua.



Los soldados diminutos

El agua nos resulta tan común que a menudo olvidamos su fragilidad. Frente a contaminantes cada vez más resistentes, ¿estaremos a tiempo de hacer algo al respecto? El uso de nanomateriales para la limpieza y purificación del agua es la respuesta más prometedora que tenemos ahora. Estos materiales forman un ejército diverso en el que cada integrante tiene un papel único (ver figura 3).

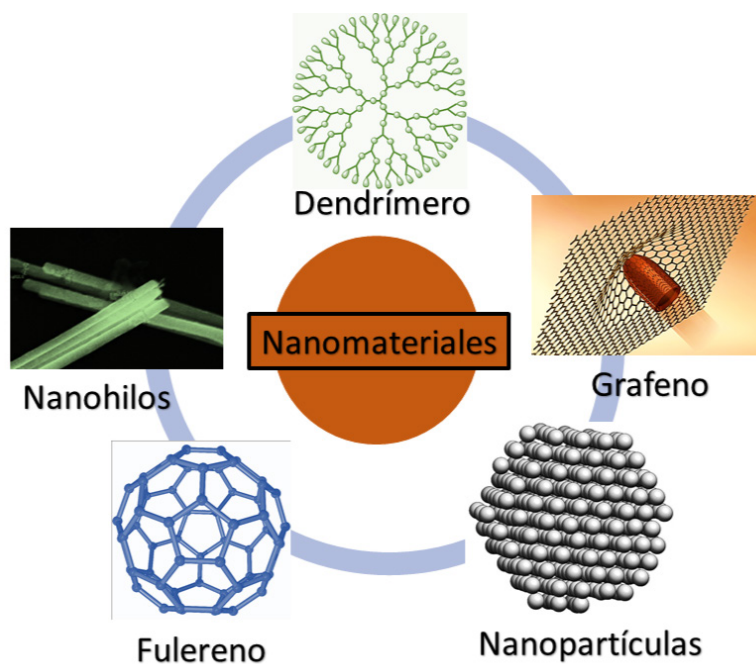


Figura 3. Clasificación de nanomateriales que pueden ser utilizados para el tratamiento del agua.

Créditos: elaboración propia con ChatGPT y PowerPoint.

Nanopartículas metálicas

Estas diminutas partículas hechas a partir de metales como el oro (Au) o la plata (Ag) tienen un talento especial: cuando reciben luz pueden activar reacciones químicas que transforman contaminantes en sustancias menos dañinas, como si la luz del sol les diera energía para limpiar el agua.

Los científicos han comprobado que estas partículas actúan como imanes invisibles capaces de atraer impurezas y eliminar restos de fármacos o pesticidas que suelen colarse en los ríos y mantos acuíferos (Gottschalk y Nowack, 2011).

Cuando estas nanopartículas se combinan con *óxido de grafeno* (OG), un material parecido a una hoja ultrafina de carbón, se vuelven aún más eficientes. Juntos actúan para eliminar bacterias y evitan la formación de esas costras pegajosas (*bioincrustaciones*) que se acumulan en filtros o tuberías descuidadas (Sun et al., 2015). En este caso el tamaño sí importa: cuanto más pequeñas y homogéneas sean, mejor hacen su trabajo de purificación.

Nanocatalizadores

Los nanocatalizadores funcionan como aceleradores dentro del agua: no sólo atrapan contaminantes difíciles de eliminar, sino que también los rompen químicamente y los transforman en compuestos menos dañinos, lo que les permite reaccionar con múltiples contaminantes a la vez y acelerar los procesos de purificación del agua.

Algunos nanocatalizadores se construyen como verdaderas colmenas microscópicas, formadas por átomos de metal unidos a moléculas orgánicas que crean redes tridimensionales llenas de diminutos pasadizos. Estas estructuras, llamadas *metalorgánicas*, pueden diseñarse para atrapar contaminantes específicos, unos verdaderos filtros hechos a la medida.

Según su composición, los nanocatalizadores pueden ser metálicos, magnéticos, mezclas de óxidos o arquitecturas MOFs que llevan la purificación del agua a otro nivel.

Nanoadsorbentes

Estos materiales actúan como cazadores invisibles de contaminantes gracias a su enorme área superficial y a los diminutos poros que los recorren. Entre ellos, los más conocidos son los *nanotubos de carbono*, unos popotes microscópicos capaces de atrapar metales pesados, pesticidas y otras impurezas difíciles de eliminar.

Lo interesante es que no todos los nanotubos son iguales; según la forma en que se fabriquen cambian sus propiedades y se convierten en especialistas frente a distintos contaminantes (Mishra y Sundaram, 2023). Algunos tienen superficies repelentes al agua (*hidrofóbicas*) que ayudan a separar impurezas flotantes, mientras que otros incorporan grupos funcionales, pequeños ganchos químicos, que se adhieren con fuerza a moléculas no deseadas.

Otros nanoadsorbentes destacados son las *zeolitas*, estructuras cristalinas con cavidades microscópicas que actúan como tamices selectivos atrapando toxinas y metales pesados, mientras que dejan pasar lo no dañino. Su capacidad de almacenamiento es enorme y lo mejor es que pueden modificarse para ser aún más precisas en su captura de contaminantes específicos.

Por su parte, los *dendrimeros* se asemejan a diminutos árboles moleculares con ramas que terminan en múltiples puntos activos. Estas terminaciones funcionan como brazos químicos que atrapan y retienen metales pesados, pesticidas o colorantes mediante interacciones químicas. Gracias a esta versatilidad, los dendrimeros se consideran adsorbentes altamente selectivos, capaces de adaptarse a distintos escenarios de purificación.

Nanomembranas

Estas membranas son como una piel inteligente y ultrafina, tan delgada que su grosor se mide en millonésimas de milímetro y tienen la sorprendente capacidad de dejar pasar sólo agua limpia. Se pueden fabricar a partir de dendrímeros, nanotubos de carbono o nanopartículas y se presentan en distintas formas: desde tubitos invisibles hasta láminas planas en dos dimensiones.

Existen dos caminos para crearlas: en uno se obtienen “deshojando” materiales capa por capa, como si pelaras una cebolla, mientras que en el otro se construyen químicamente, diseñadas a la medida. Cuando se ensamblan múltiples capas se forma una membrana mayor más resistente (Rehmar et al., 2020), que mejora su capacidad exponencialmente si se le incorporan dendrímeros en capas ultradelgadas. Estas membranas híbridas tienen un “filtro” mejorado y refuerzan el desempeño del sistema de purificación.

Estas tecnologías todavía no son de uso masivo, pero los experimentos confirman que pueden reducir costos energéticos, compactar instalaciones y superar en eficacia a los métodos convencionales. La clave está en que cada nanomaterial aporta un superpoder distinto: unos atrapan, otros degradan, algunos bloquean y otros impiden la proliferación de organismos indeseados.

El reto ahora no es científico, sino social y económico: ¿cómo pasar de la escala de laboratorio a plantas de tratamiento capaces de abastecer ciudades enteras? ¿Podremos garantizar que estas soluciones sean seguras, accesibles y sostenibles? La respuesta sigue en construcción. Hoy, numerosos grupos de investigación experimentan con nanomateriales para mejorar los procesos de tratamiento de aguas residuales (Qu et al., 2013).

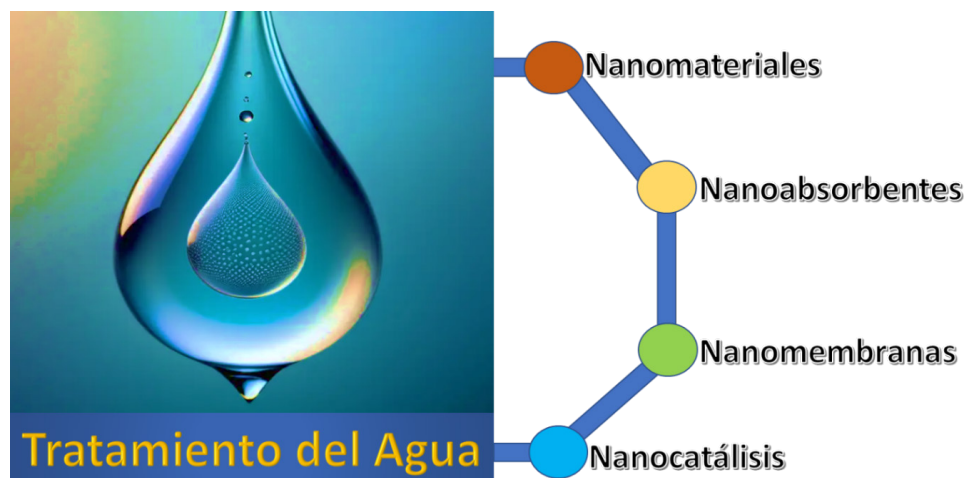


Figura 4. Usos de nanotecnología en el tratamiento del agua.

Créditos: elaboración propia con ChatGPT y PowerPoint.

Del laboratorio a la planta de tratamiento: retos y perspectivas

La nanotecnología ya no es sólo teoría: cruzó la frontera del laboratorio hacia aplicaciones reales (ver tabla 1).



TABLA 1. NANOTECNOLOGÍA APLICADA AL AGUA: CASOS REALES



LUGAR/SECTOR	¿QUÉ SE USÓ?	¿PARA QUÉ?	DATO CLAVE	REFERENCIA
Industria textil	Bacterias + grafeno	Degradar colorantes	95% menos contaminantes	
India (municipales)	Nanopartículas magnéticas (Fe ₃ O ₄)	Quitar metales pesados	92% de eficacia, casi sin residuos	Lokesh et al., 2019
Trinidad y Tobago	TiO ₂ + luz UV	Eliminar virus y bacterias	99% de desinfección	Tota-Maharaj y Paul, 2015
Túnez (textil)	TiO ₂ + puntos cuánticos de carbono	Eliminar colorantes orgánicos	Casi 100% bajo luz visible	Bousselmi y Schroeder, 2004
Austria (VTA)	Innovaciones nanotecnológicas	Tratamiento industrial sostenible	Presentado en ferias internacionales	VTA, 2025
España (Smallops)	Nanopartículas FeO en carbono	Agua agroalimentarias y suelos	A partir de residuos oleícolas	Smallops, 2025
México (SAPAL)	Nanotecnología + sistemas portátiles	Saneamiento y reúso inteligente	Proyecto piloto contra estrés hídrico	Convención aneas, 2025

Créditos: Elaboración propia con base en Shen et al. (2019).

Estos ejemplos demuestran que la nanotecnología aplicada a la purificación del agua se emplea con resultados alentadores en contextos industriales, urbanos y rurales. Sin embargo, persisten las dudas e incertidumbres: aunque muchos sistemas funcionan bien en plantas pequeñas, no se ha comprobado su viabilidad en grandes instalaciones y los costos de producción de nanomateriales son más altos que los de tecnologías convencionales, lo que limita su adopción masiva. A esto se suma la urgencia de mejorar su durabilidad y asegurar su eficacia en condiciones reales de uso continuo.

En paralelo, la falta de información fiable sobre su seguridad y manejo deja preguntas sobre los efectos de liberar nanomateriales en el ambiente y a la salud (Nagar y Pradeep, 2020). Además, no olvidemos el reto de la equidad en el acceso, es decir, garantizar que estas tecnologías no sean exclusivas de países o sectores con mayor poder adquisitivo, sino que lleguen también a las comunidades más vulnerables (ver figura 5).

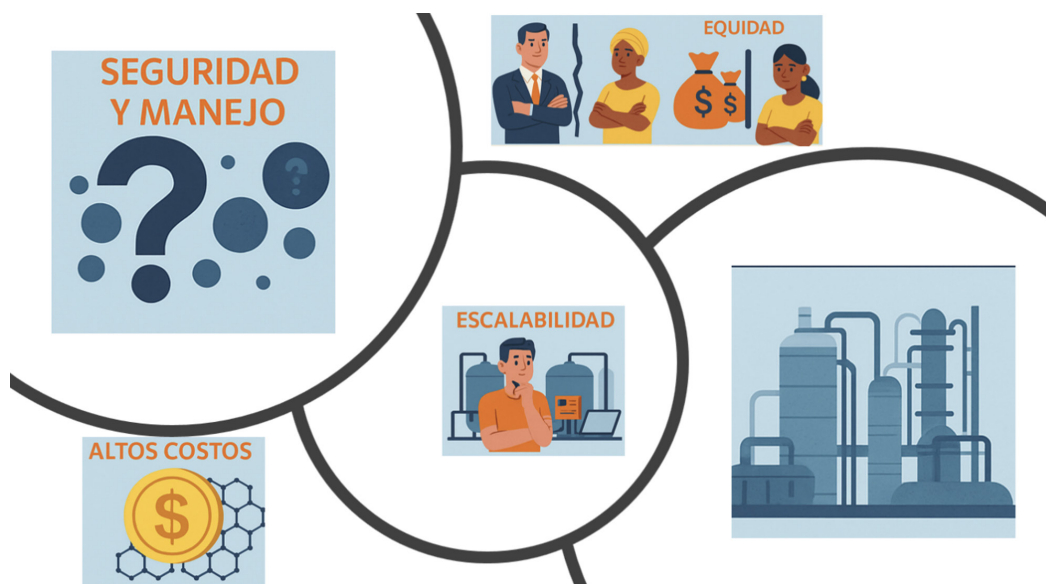


Figura 5. Retos de la nanotecnología para el tratamiento de agua.

Créditos: elaboración propia con ChatGPT y PowerPoint.

Más que promesa, una necesidad

Con todo, las perspectivas son optimistas. Los resultados experimentales y las pruebas piloto muestran que la nanotecnología puede reducir instalaciones y costos energéticos, además de ofrecer soluciones donde los métodos tradicionales fallan. El verdadero desafío ahora es avanzar hacia una adopción responsable, segura y sostenible, que combine innovación tecnológica con políticas públicas y modelos sociales incluyentes. Sólo así será posible transformar este sueño científico en una realidad al servicio de todos.

Con ello, también emergen nuestras responsabilidades; comprender y evaluar los riesgos asociados con el uso de nanomateriales será fundamental para avanzar hacia un futuro sostenible. Este camino exige una colaboración entre científicos, industrias, gobiernos y comunidades, de modo que la nanotecnología no quede en un experimento aislado, sino que se convierta en una herramienta tangible para garantizar la calidad y seguridad de nuestro recurso vital.

La cuestión no es únicamente qué puede hacer la nanotecnología por el agua, sino qué estamos dispuestos a hacer nosotros para que esa promesa se convierta en una realidad justa y accesible. El agua es más que un recurso, es vida. Cuidarla y asegurarla para las próximas generaciones será quizá la mayor prueba de nuestra capacidad colectiva para usar la ciencia en favor de la humanidad.

Agradecimientos

O. Hernández-Cruz agradece la beca posdoctoral SECIHTI No. 2331329

Referencias

- ❖ Ball, P. (2009, 8 de enero). *Feynman's fancy*. Chemistry World. <https://www.chemistryworld.com/features/feynmans-fancy/3004592.article>
- ❖ Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., y Rizzolio, F. (2019, 27 de diciembre). The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
- ❖ Bousselmi, L., Geissen, S.-U., y Schroeder, H. (2004, 1 de febrero). Textile wastewater treatment and reuse by solar catalysis: results from a pilot plant in Tunisia. *Water Science and Technology*, 49(4), 331-337. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0298>
- ❖ Convención ANEAS. (2025, 1 de julio). SAPAL empleará nanotecnología para el tratamiento de agua. Convención ANEAS. <https://convencionaneas.com/sapal-empleara-nanotecnologia-para-el-tratamiento-de-agua/>
- ❖ Gottschalk, F., y Nowack, B. (2011, 9 de marzo). The release of engineered nanomaterials to the environment. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(5), 1145. <https://doi.org/10.1039/c0em00547a>
- ❖ Hall, E. L., y Dietrich, A. M. (2000, 1 de junio). A brief history of drinking water. *Opflow*, 26(1), 46-49. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8701.2000.tb02243.x>
- ❖ Jadhav, A. S. (2014). Advancement in drinking water treatments from ancient times. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(4), 1415-1418. <https://www.ijset.net/journal/374.pdf>
- ❖ Kumar, S. (2023). Smart and innovative nanotechnology applications for water purification. *Hybrid Advances*, 3, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100044>
- ❖ Lokesh, B. J., Rudresh, A. N., y Radhika, N. (2019). Wastewater treatment using bio-nanotechnology. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 1(2), 85-91. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.1.2.0120>
- ❖ Mishra, S., y Sundaram, B. (2023, mayo). Efficacy and challenges of carbon nanotube in wastewater and water treatment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 19, 100764. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100764>
- ❖ Mukherjee, A., Sengupta, M. K., Hossain, M. A., Ahamed, S., Das, B., Nayak, B., Lodh, D., Rahman, M. M., y Chakraborti, D. (2016, junio). Arsenic contamination in groundwater: a global perspective with emphasis on Asian scenario. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 24(2), 142-163. <https://www.jstor.org/stable/23499353>



- ❖ Nagar, A., y Pradeep, T. (2020, 20 de mayo). Clean Water through Nanotechnology: Needs, Gaps, and Fulfillment. *ACS Nano*, 14(6), 6420-6435. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b01730>.
- ❖ Qu, X., Brame, J., Li, Q., y Alvarez, P. J. J. (2012, 23 de junio). Nanotechnology for a Safe and Sustainable Water Supply: Enabling Integrated Water Treatment and Reuse. *Accounts of Chemical Research*, 46(3), 834-843. <https://doi.org/10.1021/ar300029v>
- ❖ Qu, X., Alvarez, P. J. J., y Li, Q. (2013, 1 de agosto). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*, 47(12), 3931-3946. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058>
- ❖ Rehman, F., Thebo, K. H., Aamir, M., y Akhtar, J. (2020). Nanomembranes for water treatment. En A. Amrane, S. Rajendran, T. A. Nguyen, A. A. Assadi, A. M. Sharoba (Eds.), *Nanotechnology in the Beverage Industry* (pp. 207-240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819941-1.00008-0>
- ❖ Shen, L., Jin, Z., Xu, W., Jiang, X., Shen, Y., Wang, Y., y Lu, Y. (2019). Enhanced Treatment of Anionic and Cationic Dyes in Wastewater through Live Bacteria Encapsulation Using Graphene Hydrogel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(19), 7817-7824. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b01950>
- ❖ Smallops. (2025). *Aplicaciones de las nanopartículas de hierro*. <https://smallops.eu/aplicaciones-de-las-nanopartículas-de-hierro/>
- ❖ Sun, X.-F., Qin, J., Xia, P.-F., Guo, B.-B., Yang, C.-M., Song, C., y Wang, S.-G. (2015, diciembre). Graphene oxide-silver nanoparticle membrane for biofouling control and water purification. *Chemical Engineering Journal*, 281, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.059>
- ❖ Tota-Maharaj, K., y Paul, P. (2015, 20 de enero). Evaluation of the solar photocatalytic degradation of organochlorine compound trichloroethanoic acid using titanium dioxide and zinc oxide in the Caribbean region. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(3), 559-568. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.005>
- ❖ VTA. (s. f.). *VTA NANOFLOC®*. <https://vta.cc/es/productos/productos-de-sistema/vta-nanofloc>
- ❖ Westerhoff, P., Alvarez, P., Li, Q., Gardea-Torresdey, J., y Zimmerman, J. (2016, 16 de septiembre). Overcoming Implementation Barriers for Nanotechnology in Drinking Water Treatment. *Environmental Science: Nano*, 3(6), 1241-1253. <https://doi.org/10.1039/c6en00183a>