

NANOMATERIALES ADSORBENTES, PEQUEÑOS ALIADOS CONTRA LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

FRANCISCO J. CANO,
JAVIER AGUILA-ROSAS Y
ENRIQUE LIMA¹

Agua, el motor silencioso de tu salud

El agua es la base de la civilización y el componente esencial de la vida. Sin embargo, actualmente, este recurso vital se ha convertido en uno de los principales vehículos de enfermedades a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), *el consumo de agua contaminada y el saneamiento deficiente están vinculados a la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A y la fiebre tifoidea* (ONU, 2021). Pero más allá de las bacterias, existe una amenaza invisible y silenciosa, los contaminantes químicos.



A medida que las zonas urbanas, como la Ciudad de México, se expanden y las actividades industriales y agrícolas se intensifican, nuestros ríos, lagos y mares reciben una carga creciente de sustancias tóxicas. Metales pesados como el arsénico y el plomo, junto con contaminantes emergentes, como los residuos de fármacos y microplásticos (partículas de plástico menores a 5 milímetros, derivadas de la degradación de envases, bolsas o tubos), se filtran en los depósitos de agua. Estos compuestos no sólo degradan los ecosistemas, sino que ingresan en la cadena alimenticia y, eventualmente, en el organismo humano, donde actúan como sustancias que desequilibran hormonalmente o como agentes cancerígenos (Fig. 1).

¹ Laboratorio de Físicoquímica y Reactividad de Superficies (LaFReS), Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Francisco J. Cano: francisco.cano@materiales.unam.mx y Enrique Lima: lima@iim.unam.mx.

Ante esta crisis, que afecta de manera desproporcionada a comunidades vulnerables, la ciencia de materiales ha dado un paso al frente mediante el diseño de nanomateriales adsorbentes, una herramienta más eficiente para purificar el agua y proteger la salud.

El desafío de lo invisible, contaminantes que persisten

Las plantas de tratamiento de agua convencionales fueron diseñadas principalmente para eliminar materia orgánica y agentes patógenos. No obstante, son ineficaces frente a moléculas de tamaño microscópico que se encuentran en concentraciones de partes por billón. Imaginémonos intentar atrapar granos de arena fina con una red de pesca para tiburones; así de ineficientes son los métodos tradicionales ante los contaminantes modernos.

Entre estos "enemigos invisibles" destacan los metales pesados. El plomo, por ejemplo, funciona como una neurotoxina que afecta el desarrollo en niños, mientras que el arsénico, presente de forma natural en muchos pozos de México, está vinculado a lesiones en la piel y cáncer de vejiga. Por otro lado, la presencia de antimicrobianos en el agua contribuye al crecimiento de bacterias resistentes, un problema de salud pública que se cataloga como una de las mayores amenazas para la humanidad.

El proceso de adsorción, un "imán" químico

Es común confundir absorción con adsorción, pero la diferencia es vital para la ingeniería de materiales. Mientras que en la absorción una sustancia ingresa en el interior de un cuerpo (como el agua en una esponja), en la adsorción el contaminante sólo se pega a la superficie del nanomaterial que lo va a retener (Fig. 2).

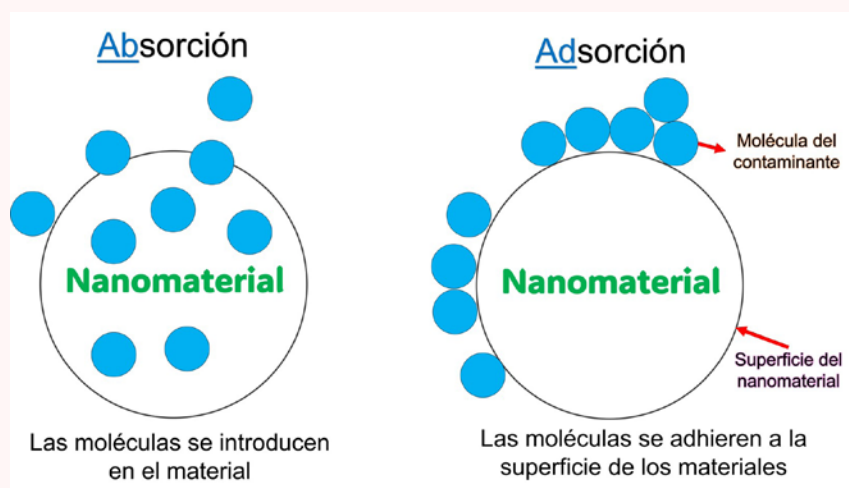


Figura. 2. Esquema didáctico que diferencia la absorción (relleno) de la adsorción (superficie). Elaboración propia.

Los nanomateriales adsorbentes funcionan mediante distintas interacciones. Podemos imaginar la superficie de una nanopartícula como si estuviera cubierta de velcro. Los científicos podemos diseñar estos materiales para que sean selectivos; es decir, podemos añadir moléculas específicas que actúen como llaves que sólo encajan con ciertos contaminantes. De este modo, el nanomaterial puede ignorar minerales no tóxicos como el calcio, y "cazar" selectivamente iones de mercurio, moléculas de paracetamol, o cualquier otro contaminante.

Tipos de nanomateriales: nuestra caja de herramientas

En la Ciudad de México, diversos laboratorios trabajan diariamente diseñando soluciones a escala nanométrica para problemas de salud global. Uno de ellos, es el Laboratorio de Fisicoquímica y Reactividad de Superficies (LaFReS), que combina la química, la física y la ingeniería para "cocinar" nuevos materiales que funcionan como verdaderas esponjas inteligentes.

Para enfrentar la contaminación del agua, hemos desarrollado una "caja de herramientas nanotecnológicas" que se divide principalmente en tres familias de materiales, cada una con un "superpoder" diferente (Fig. 3).



Figura 3. Caja de herramientas nanotecnológicas desarrollada en el LaFReS-IIM para purificar el agua. Diferentes familias de nanomateriales capturan diversos tipos de contaminantes presentes en el agua. Elaboración propia con asistencia de IA Gemini para el diseño inicial, posteriormente editado.

Imanes microscópicos, nanopartículas y óxidos metálicos

¿Se imaginan poder atraer la contaminación como si usáramos un imán de cocina? Eso es precisamente lo que logramos con los óxidos metálicos, como la magnetita. Estos materiales son tan pequeños que no se ven a simple vista, pero tienen una afinidad asombrosa por metales tóxicos como el arsénico y el plomo.

Lo más fascinante es su capacidad de respuesta, una vez que estas partículas han "atrapado" al contaminante en el agua, simplemente acercamos un imán potente al contenedor. De forma casi mágica todas las partículas viajan hacia el imán, arrastrando consigo la toxicidad y dejando el agua limpia. Esto no sólo purifica el líquido, sino que nos permite recuperar el material para usarlo una y otra vez, evitando generar más basura.

Las redes del futuro, materiales basados en carbono

El carbono es el mismo elemento que forma la punta de un lápiz o un diamante, pero a nanoescala se transforma en estructuras asombrosas como los nanotubos o el grafeno. Nosotros aprovechamos que estos materiales son extremadamente ligeros y porosos.

Si pudiéramos "estirar" una pequeña pizca de estos polvos de materiales de carbono, cubriríamos áreas equivalentes a varios campos de fútbol. Esta inmensa superficie está llena de huecos donde quedan atrapadas moléculas complejas, como los pesticidas o los colorantes que la industria textil desecha. Son, en esencia, las redes de pesca más finas y resistentes que la ciencia puede fabricar.

La combinación de dos mundos, nanocompuestos híbridos

A veces, un solo material no es suficiente. Por ello, diseñamos materiales híbridos o inteligentes. Imaginemos que tomamos una estructura natural y amigable con el ambiente y le insertamos las nanopartículas magnéticas o los tubos de carbono que mencionamos antes.

El resultado es un material de vanguardia, más estable, fácil de manejar en filtros caseros y totalmente biodegradable. Estos híbridos representan la cúspide de nuestra investigación, ya que permiten capturar múltiples tipos de contaminantes al mismo tiempo, protegiendo la salud de quienes beben agua en zonas donde no hay grandes plantas de tratamiento.

Impacto en la salud, de la teoría a la prevención

La implementación de estos materiales tiene un impacto directo en la salud pública. Al eliminar metales pesados en la fuente de suministro, se reduce la incidencia de enfermedades crónicas renales y hepáticas. En el caso de los contaminantes emergentes, la eliminación de hormonas residuales en el agua previene alteraciones en el sistema reproductivo y endocrino (hormonal).

Un aspecto crítico en nuestra investigación es la nanotoxicología. No tendría sentido limpiar el agua con materiales que resulten tóxicos para el ser humano. Por ello, apostamos por la "síntesis verde", utilizando procesos de bajo impacto ambiental para fabricar nanomateriales seguros por su diseño. Esto garantiza que su uso no comprometa la salud de los consumidores ni de los ecosistemas.

Hacia un futuro sostenible

Aun con los avances, el camino del laboratorio a la implementación masiva enfrenta retos. La producción de estos materiales debe ser económicamente competitiva y su integración en las plantas de tratamiento existentes requiere voluntad política y una colaboración integral; sin embargo, la promesa es clara: la nanotecnología nos permite repensar nuestra relación con el agua.

Ya no se trata sólo de filtrar partículas visibles, sino de intervenir a nivel molecular para deshacer el daño ambiental. En un mundo donde el agua limpia es cada vez más escasa, los nanomateriales no son sólo un objeto de estudio académico, son pequeños aliados que protegen nuestra salud y aseguran el bienestar de las próximas generaciones.

Agradecimientos

Estancia posdoctoral realizada gracias al Programa de Becas Posdoctorales (Posdoc), de la Universidad Nacional Autónoma de México. Este trabajo fue apoyado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), México (CBF2023-2024-227).