

## Membranas de grafeno: un muro atómico frente al arsénico

Mauricio Becerra-Ortiz,<sup>1</sup> Magín González-Moscoso<sup>2</sup>

### Introducción

En distintos países del mundo, incluyendo México, se han detectado niveles de arsénico en el agua potable que superan el límite de  $10 \mu\text{gL}^{-1}$  recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La exposición al arsénico a través del agua representa una amenaza silenciosa que tiene efectos perjudiciales en la salud humana. ¿Existe alguna tecnología novedosa para retener el arsénico?, sí, la nanotecnología puede ser un fuerte aliado. Los nanomateriales a base de carbono como el grafeno pueden absorber y eliminar el arsénico del agua de manera más eficiente que las tecnologías convencionales.

### El arsénico un enemigo oculto en el agua

El arsénico es un metaloide (elemento que combina propiedades de metales y no metales) conocido como el "rey de los venenos" debido a su alta toxicidad y presencia en distintas fuentes de agua potable a nivel mundial. No tiene sabor ni olor, por lo que puede ser ingerido sin que las personas lo noten. Su presencia constante en el consumo humano representa una amenaza silenciosa, ya que sus efectos pueden tardar años en manifestarse. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer lo clasifica como un carcinógeno, es decir, un agente capaz de causar diversos tipos de cáncer, como se muestra en la Figura 1. Además, se ha relacionado con una amplia gama de enfermedades como diabetes, hipertensión, daños renales y pulmonares, alteraciones neurológicas y gástricas, así como afecciones cardíacas. En el caso de los niños, su exposición se ha vinculado con menor coeficiente intelectual, bajo peso al nacer y mortalidad infantil. El arsénico no tiene sabor, pero sus efectos son amargos. Este contaminante puede encontrarse en el agua debido a fuentes naturales y humanas (como la minería, la agricultura o procesos industriales), y suele afectar de forma más severa a comunidades rurales, donde el acceso a sistemas de purificación es limitado. Las tecnologías convencionales de remediación incluyen procesos como la ósmosis inversa, intercambio iónico y coagulación-floculación, pero muchas de ellas

son costosas, requieren infraestructura especializada y generan residuos secundarios, lo que dificulta su aplicación en zonas con pocos recursos.

Frente a este panorama, la nanotecnología ofrece nuevas oportunidades para combatir esta problemática. En particular, el grafeno, por sus propiedades únicas a nivel nanométrico, ha demostrado un gran potencial como material filtrante. Sus derivados, como el óxido de grafeno, han comenzado a utilizarse en el desarrollo de membranas especializadas para la absorción eficiente de arsénico en el agua, representando así una alternativa prometedora, accesible y efectiva para avanzar hacia un futuro con agua más segura.

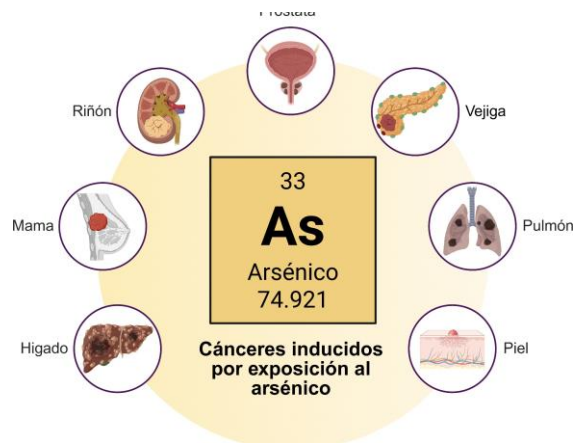


Figura 1. Tipos de cáncer relacionados a la exposición del arsénico en el agua. Creada en BioRender.

### El superpoder del grafeno: más allá de un simple filtro

El grafeno es un nanomaterial bidimensional formado por una sola capa de átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal similar a un panal de abejas, con un espesor aproximado de  $0,34 \text{ nm}$ . Esta estructura le confiere propiedades excepcionales: es extremadamente resistente (hasta 200 veces más fuerte que el acero de igual grosor), flexible, casi completamente transparente y con una alta conductividad térmica y eléctrica. Además, su área superficial, cercana a  $2600 \text{ m}^2/\text{g}$ , lo hace ideal para

aplicaciones que requieren una gran interacción a nivel superficial. Este novedoso nanomaterial puede obtenerse mediante métodos como la exfoliación mecánica, la exfoliación química, la deposición química en fase vapor (CVD), el crecimiento epitaxial en carburo de silicio y la síntesis a partir de la reducción de óxido de grafeno.

Entre sus diversas aplicaciones, el grafeno ha sido explorado en electrónica, sensores, recubrimientos y tecnologías de filtración. En este último campo, su forma oxidada, conocida como óxido de grafeno (GO), ha demostrado ser especialmente útil para la fabricación de membranas. El GO se obtiene al oxidar grafito y está compuesto por láminas funcionalizadas con grupos oxigenados (como -OH, epóxidos y -COOH), lo que le confiere gran afinidad por los metales pesados como el arsénico. Al comparar la estructura del grafeno con la del GO (ver Figura 2), es posible observar que, aunque ambos conservan la red hexagonal de átomos de carbono, el GO presenta huecos y grupos oxigenados que actúan como sitios activos para la retención de arsénico mientras permiten el paso del agua. Esto hace que las membranas de óxido de grafeno sean una alternativa prometedora y eficiente para la remoción de este contaminante en el agua.

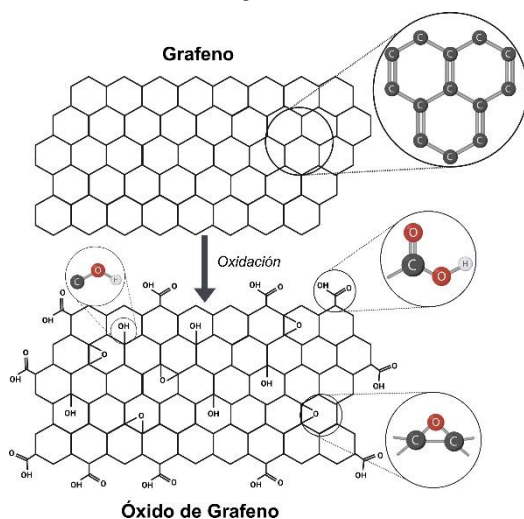


Figura 2. Comparación de la estructura atómica del grafeno y óxido de grafeno. Creada en BioRender.

### Mecanismo de acción: ¿cómo funcionan las membranas de grafeno?

Las membranas de grafeno, especialmente las hechas con óxido de grafeno, funcionan como una especie de colador a escala nanométrica que permite el paso del agua mientras detiene al arsénico y otras sustancias no

deseadas. Esto se logra gracias a su estructura formada por capas muy delgadas que dejan entre sí pequeños canales por donde fluye el agua. Estos canales son tan estrechos que las partículas de arsénico no pueden atravesarlos con facilidad y quedan atrapadas. Una de las claves de estas membranas es que no solo separan por el tamaño de los poros, sino también porque las capas del óxido de grafeno contienen grupos oxigenados que tienen la capacidad de unirse o atraer al arsénico, haciendo que quede retenido en la membrana.

Así, mientras el agua limpia pasa al otro lado, los metales pesados se quedan en el filtro.

Además de su selectividad, estas membranas exhiben una alta permeabilidad al agua, bajo consumo energético y resistencia al ensuciamiento, lo que las hace una tecnología prometedora frente a métodos tradicionales de remoción de metales pesados. El proceso y el mecanismo de filtración seguido por estas membranas se representa en la Figura 3, donde se observa el recorrido del agua y la retención del arsénico a nivel nanométrico.

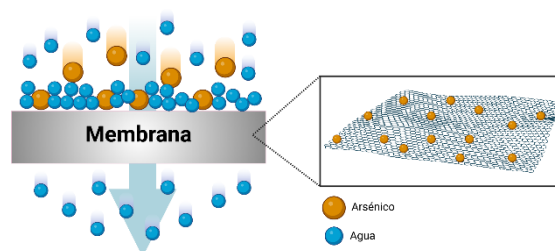


Figura 3. Mecanismo de acción de las membranas de grafeno para la remoción de arsénico del agua. Creada en BioRender.

### Conclusiones

La contaminación del agua por arsénico representa un desafío urgente para la salud pública y el medio ambiente, especialmente en comunidades donde el acceso a fuentes seguras es limitado. En este contexto, las membranas de grafeno, y en particular las basadas en óxido de grafeno, se perfilan como una solución innovadora y prometedora gracias a su estructura nanométrica, su alta selectividad y su capacidad de retener eficazmente estos contaminantes mientras permiten el paso del agua limpia. Esta tecnología no solo ofrece una alternativa eficiente y de bajo consumo energético frente a métodos tradicionales, sino que también abre nuevas posibilidades para el desarrollo de sistemas de purificación de agua más sostenibles y accesibles.

Palabras clave: Grafeno; membranas; arsénico; adsorción.

<sup>1</sup> Mauricio Becerra Ortiz: Estudiante de décimo cuatrimestre de Ingeniería en Nanotecnología en la Universidad Politécnica de Chiapas. Actualmente, practicante de investigación en el Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Contacto: [mauricio.beor1108@gmail.com](mailto:mauricio.beor1108@gmail.com)

<sup>2</sup> Magín González Moscoso: Doctor en Ciencias, Candidato a Investigador Nacional. Profesor de Asignatura del Departamento de Nanotecnología de la Universidad Politécnica de Chiapas. Actualmente, Posdoctorante. Laboratorio de Biología Molecular, Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Contacto: [magingonmos@gmail.com](mailto:magingonmos@gmail.com)

#### Lecturas recomendadas

ABU BAKAR, Noraini, WAN IBRAHIM, Wan Norhamidah and MOHD FAUDZI, Siti Munirah. Arsenic contamination in rice and drinking water: An insight on human cognitive function. *Journal of Hazardous Materials Advances* 17. 2025. DOI 10.1016/j.hazadv.2024.100543.

PABÓN GUERRERO, Santiago Eduardo et al. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*. 2020. Vol. 14, no. 27, pp. 9-18. DOI 10.31908/19098367.1734.

SADEE, Bashdar Abuzed et al. A review on arsenic contamination in drinking water: sources, health impacts, and remediation approaches. *Royal Society of Chemistry. RSC Advances* 15. 2025. DOI 10.1039/d4ra08867k.

URCUYO SOLÓRZANO, Roberto, CORDERO SOLANO, Karla Vanessa and GONZALEZ FLORES, Diego Andrés. Perspectivas y aplicaciones reales del grafeno después de 16 años de su descubrimiento. *Revista Colombiana de Química*. 2021. Vol. 50, no. 1, pp.51-85. DOI 10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.90134.

VASSEGHIAN, Yasser et al. Graphene-based membrane techniques for heavy metal removal: A critical review. *Environmental Technology and Innovation*. 2021. Vol.24. DOI 10.1016/j.eti.2021.101863.

