

CIENCIAS APLICADAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 1, enero-marzo 2026

<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.01.apl.01>
e0401APL01

CIENCIA VITAL

Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2603-9966

Bismuto:

el oro amarillo mexicano de la ciencia

Dra. María Teresa Ayala Ayala¹

Dra. Brenda Alicia Rosales Pérez²

Dr. Luis Arturo Godínez Mora-Tovar³



¹ Universidad Autónoma de Querétaro. maria.teresa.ayala@uaq.mx

² Universidad Autónoma de Querétaro. <https://orcid.org/0000-0003-0682-8186>

³ Universidad Autónoma de Querétaro. <https://orcid.org/0000-0002-4136-3858>



INICIO



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

RESUMEN

El bismuto es un semimetal (un material con propiedades a medio camino entre metal y no metal) de baja toxicidad que está ganando interés como alternativa más “verde” al plomo y otros metales pesados. En este artículo mostramos por qué México, como uno de los grandes productores mundiales de bismuto, tiene una oportunidad estratégica para impulsar materiales innovadores con impacto en la limpieza del agua, la energía limpia y la biomedicina. El foco está en el óxido de bismuto (Bi_2O_3), un material de color amarillo que puede activar reacciones químicas al recibir luz: es decir, funciona como fotocatalizador (aprovecha la luz para acelerar procesos que degradan contaminantes). Desde el Centro de Investigación en Química para la Economía Circular (CIQEC) se desarrollan dispositivos fotoactivos a base de bismuto para tratar agua contaminada con métodos sostenibles y de bajo costo. La invitación es clara: revalorar este recurso nacional como motor de innovación, el “oro amarillo mexicano de la ciencia”.

1. Introducción: el bismuto en México

¿Sabías que México posee uno de los semimetales más interesantes para la ciencia y la tecnología, con un gran potencial en **remediación ambiental**, **generación de energía** y **aplicaciones biomédicas**? ¿Y que, además, nuestro país cuenta con una de las mayores reservas de **bismuto** a nivel mundial, lo que lo posiciona como un posible productor y exportador?

En el siglo XVI, los mineros bautizaron al bismuto como “tectum argenti”, o “plata en formación”. Su nombre actual, **bismuto**, tiene una etimología incierta, aunque se piensa que podría venir de las palabras alemanas “Bismuth”, “Wismut” o “Wissmuth”. El bismuto (símbolo químico **Bi**) es un **semimetal**, es decir, tiene propiedades intermedias entre un metal y un no metal. Es cristalino, duro y quebradizo, y es uno de los pocos metales que **se expanden al solidificarse** [1], [2].

En México, el bismuto se obtiene principalmente como **subproducto** del refinamiento de cobre (Cu), plomo (Pb) y plata (Ag). Como México es un gran productor de plata, esto favorece la recuperación de bismuto en esos procesos metalúrgicos. En 2018, el país se posicionó como el cuarto productor mundial de bismuto, con Coahuila como el mayor contribuyente; y en 2022 México exportó 991,000 dólares en bismuto, lo que lo ubicó como el producto número 935 más exportado del país y en la posición 13 a nivel mundial, con una aportación del 6.68 % de la producción global [1]. Sin embargo, la producción de bismuto de refinería está encabezada por China (1,800 toneladas en 2022), seguida de Laos y Vietnam [3].

En México, el bismuto se exporta principalmente en forma de **pellets**, lo que limita su aprovechamiento tecnológico. Aunque se clasifica como “metal pesado”, el bismuto tiene una toxicidad relativamente baja y no representa un riesgo importante para la salud humana [4]. Por eso, puede ser una alternativa para sustituir metales más tóxicos y contaminantes, como el plomo (Pb) y el cadmio (Cd) [2]. Aun así, la falta de conocimiento y desarrollo tecnológico sobre sus propiedades fisicoquímicas y sobre los materiales basados en bismuto ha restringido la exploración de sus usos en energía, ambiente y biomedicina. En consecuencia, en el país el bismuto suele considerarse un producto de bajo valor agregado y se exporta a bajo costo en su forma semimetálica.

2. Aplicaciones tecnológicas y científicas

Hoy en día, el bismuto se utiliza en distintas áreas. En farmacéutica, el **subsalicilato de bismuto** ($\text{C}_7\text{H}_5\text{BiO}_4$) se emplea en antidiarreicos (como Pepto-Bismol®) para disminuir la pérdida de líquidos y electrolitos, y también aparece en algunos antigripales y antihistamínicos [5]. En cosméticos, el **oxicloruro de bismuto** (BiOCl) se usa como pigmento por su afinidad y adherencia a la piel [6]. En electrónica, el **óxido de bismuto** (Bi_2O_3) se utiliza en superconductores, soldaduras, capacitores y otros componentes [7]. En industria, se emplea en aleaciones de bajo punto de fusión, sensores térmicos y catalizadores [7].



INICIO



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

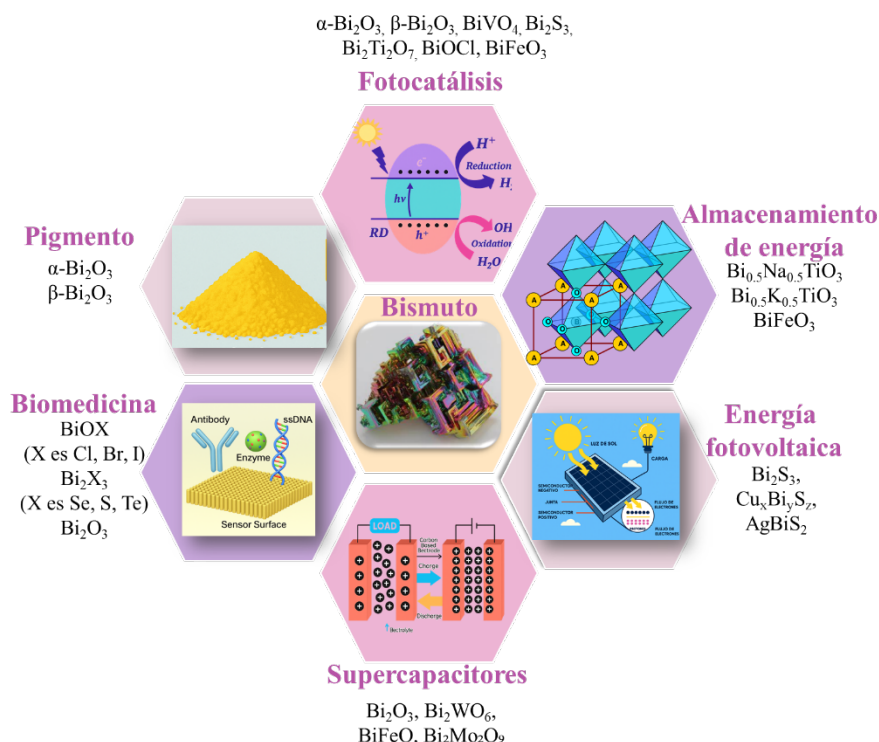


Figura 1. Aplicaciones de materiales a base de bismuto en industria, biomedicina, medio ambiente y energía.

Los materiales a base de bismuto han adquirido relevancia científica y tecnológica en diversas formas químicas, como óxidos, oxihaluros, calcogenuros, vanadatos, carbonatos, titanatos, ferritas, fosfatos, niobatos y perovskitas, entre otros [8]–[11] (Figura 1). De acuerdo con análisis bibliométricos en Scopus, una gran parte de las publicaciones sobre materiales a base de bismuto proviene de China, Estados Unidos e India. Dentro de este campo de investigación [12], uno de los materiales con mayor interés es el **óxido de bismuto (Bi_2O_3)**, que tiene un color amarillo característico y propiedades estructurales particulares. Por estas características, lo hemos llamado de forma metafórica el “**oro amarillo mexicano de la ciencia**”. ¿Por qué?

3. Óxido de bismuto

El óxido de bismuto, con fórmula química **Bi_2O_3** , puede organizar sus átomos de siete maneras distintas, conocidas como **estructuras cristalinas**. Por eso se considera un material **polimorfo**: α -monoclínica, β -tetragonal, γ -bcc, δ -fcc, ϵ -ortorrómbica, ω -triclinica y hexagonal (a altas presiones) [12].

El Bi_2O_3 tiene un color amarillo brillante que cambia según su estructura cristalina y puede ir de un amarillo pálido a un naranja. Cada estructura le da propiedades físicas, ópticas y químicas diferentes, y eso permite usos distintos. La fase α -monoclínica es la única estable a temperatura ambiente y se utiliza como pigmento. La fase δ -fcc se aplica en celdas de combustible de estado sólido. La fase β -tetragonal, gracias a su estructura tipo “túnel”, ha mostrado altas eficiencias como **fotocatalizador** (un material que acelera reacciones químicas usando luz) [13].

El color amarillo del Bi_2O_3 no es solo visual: también se relaciona con su capacidad de absorber luz en un rango amplio del espectro solar, desde la región ultravioleta (UV) hasta la luz visible alrededor de 600 nm (nanómetros, una forma de medir la longitud de onda de la luz). En términos sencillos, esto significa que puede aprovechar una parte importante de la luz del sol.

Cuando el Bi_2O_3 absorbe luz, la energía luminosa (compuesta por **fotones**, que son “paquetes” de luz) excita o “empuja” a los electrones del material. Este proceso genera dos especies con

carga opuesta: **electrones** (carga negativa) y **huecos** (carga positiva). A esto se le conoce como **fotoexcitación**. Ambas especies pueden desplazarse a la superficie del material y participar en reacciones químicas de oxidación y reducción (Figura 2).

Gracias a la fotoexcitación, el óxido de bismuto puede promover reacciones de interés ambiental y energético. Por ejemplo, puede ayudar a degradar contaminantes persistentes del agua —como herbicidas, algunos fármacos o colorantes usados en la industria textil— que no se eliminan fácilmente con métodos convencionales. Esta capacidad se conoce como **fotocatálisis**, y es una de las propiedades más interesantes del material [12].



Figura 2. Activación del óxido de bismuto para degradar contaminantes del agua (imagen creada con IA).

Además, el Bi_2O_3 puede participar en procesos como la reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x), gases contaminantes generados por la quema de combustibles; la inactivación de microorganismos patógenos (virus, bacterias y hongos); y la producción de hidrógeno (H_2) a partir del agua.

La producción de hidrógeno es especialmente relevante porque este gas se considera un combustible limpio: puede generar energía sin emitir dióxido de carbono, lo que lo convierte en una alternativa prometedora para disminuir el uso de combustibles fósiles y avanzar hacia una transición energética más sostenible [12].



INICIO



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

4. Nuevas investigaciones enfocadas en remediación ambiental

En el grupo de investigación se desarrollan proyectos orientados a uno de los mayores desafíos ambientales actuales: la purificación y tratamiento de aguas residuales, un recurso vital para la vida. En este contexto, se emplean **procesos de oxidación avanzada** con materiales carbonosos y fotocatalíticos innovadores a base de bismuto para sanear aguas contaminadas.

En particular, se han desarrollado fotocatalizadores basados en Bi_2O_3 y $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$, modificados física y químicamente para maximizar su eficiencia [14]. Estos materiales se han preparado en distintas configuraciones —polvos, recubrimientos, compósitos y celdas cortocircuitadas—, lo que amplía su versatilidad para tratar aguas sintéticas y reales, y permite remover contaminantes emergentes y recalcitrantes (difíciles de eliminar con métodos convencionales).

Los resultados recientes son prometedores: bajo irradiación de luz visible, estos fotocatalizadores pueden degradar hasta el 98 % de colorantes orgánicos como azul de metileno y naranja de metilo en 60 min. Asimismo, se ha alcanzado una degradación del 97 % del fármaco **sulfametoxazol** (un contaminante emergente detectado en cuerpos de agua), con una mineralización del 40 %.

Estos avances confirman el potencial de los materiales a base de bismuto como fotocatalizadores eficientes y sostenibles para el tratamiento y purificación de agua. Su aplicación podría contribuir a eliminar contaminantes emergentes como fármacos asociados con resistencia bacteriana y alteraciones del sistema endocrino, además de reducir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, incluida la feminización de machos en fauna acuática [15].

Uno de los desarrollos recientes del grupo es la fabricación de **materiales compuestos** Carbono/ Bi_2O_3 , es decir, materiales que combinan dos componentes con propiedades complementarias. En estos compuestos, se depositan nanopartículas de óxido de bismuto sobre fieltro de carbono [14] (Figura 3). La técnica de depósito utilizada es económica, escalable y permite controlar variables clave del proceso [16], [17].

La idea es aprovechar lo mejor de ambos materiales: por un lado, el fieltro de carbono actúa como una “esponja” gracias a su alta porosidad y gran área superficial, lo que ayuda a atrapar contaminantes del agua; por otro lado, el óxido de bismuto, al absorber luz solar, genera reacciones químicas que degradan esos contaminantes.

Además, el carbono no solo funciona como soporte: también puede participar en reacciones como la **reacción Fenton**, que produce peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), especies altamente reactivas capaces de degradar contaminantes del agua [17].



INICIO



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

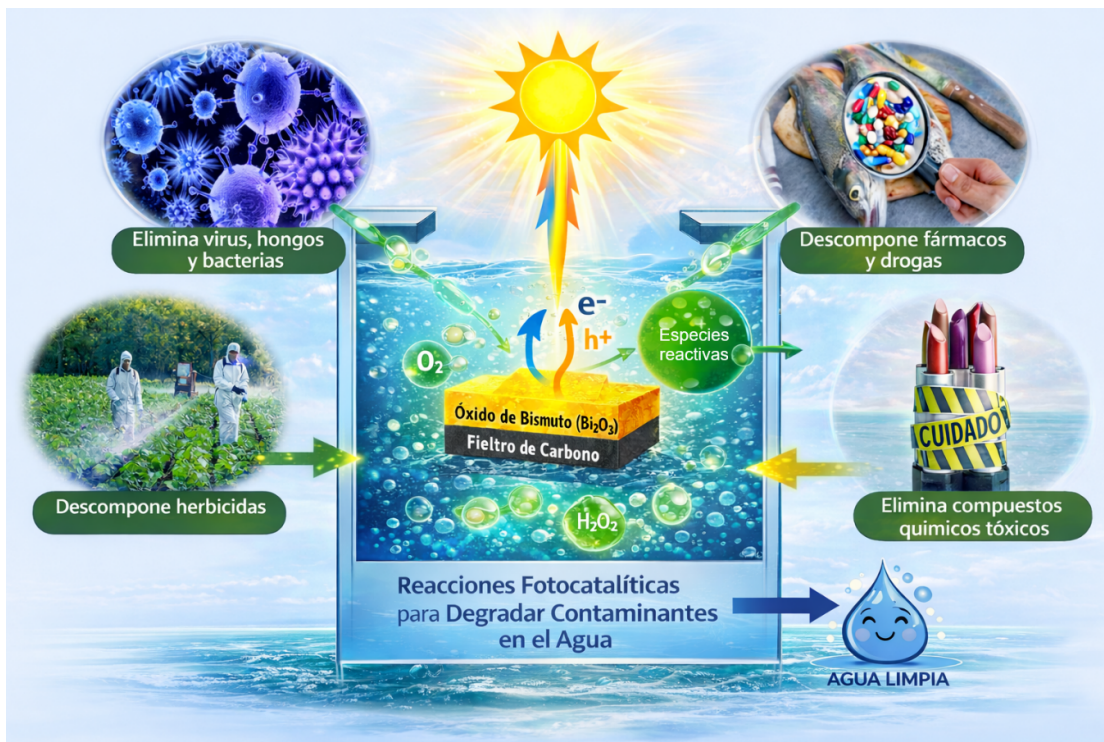


Figura 3. Compósitos Carbono/ Bi_2O_3 activados con luz solar y aplicaciones potenciales en tratamiento de agua (imagen creada con IA).

El siguiente paso en esta línea consiste en escalar estos materiales Carbono/ Bi_2O_3 hacia **dispositivos autónomos flotantes** para purificar agua. El fieltro flota de manera natural, lo que facilita su recuperación después del tratamiento, y solo requiere luz natural para activarse, sin necesidad de energía externa ni reactivos adicionales.

Esta línea de investigación, actualmente en desarrollo, tiene un alto potencial tecnológico para el tratamiento sustentable de aguas residuales, con aplicaciones directas en ríos, lagunas y zonas con acceso limitado a tecnologías convencionales de saneamiento.

5. Conclusión

La problemática ambiental actual ha impulsado el desarrollo de nuevos materiales y técnicas innovadoras que buscan soluciones más amigables con el medio ambiente, en línea con acuerdos globales como la Agenda 2030 para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015) y con el principio de la economía circular. Estos desarrollos buscan reducir gasto energético, residuos y costos, lo que facilita su implementación como proyectos tangibles y de bajo costo.

La versatilidad del óxido de bismuto permite diversificar su uso en aplicaciones que antes se consideraban poco exploradas. Será importante profundizar en investigaciones futuras para identificar de manera sistemática sus limitaciones y optimizar su implementación a escala industrial.

México posee una materia prima valiosa: el óxido de bismuto, que aún no se ha aprovechado plenamente. Su obtención a partir de la minería nacional y la posibilidad de procesarlo en el país, en diferentes composiciones químicas, abre la puerta a dispositivos fotoactivos desarrollados mediante procesos sustentables, de bajo costo y alta eficiencia. Con ello, podríamos dejar de exportarlo como materia prima de bajo valor y avanzar hacia su valorización tecnológica como el **“oro amarillo mexicano de la ciencia”**.



INICIO



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Referencias

- [1] "Bismuth," The Observatory of Economic Complexity (OEC), 2023. [Online]. Available: <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/bismuth/reporter/mex>
- [2] R. Mohan, "Green bismuth," *Nature Chemistry*, vol. 2, p. 336, 2010. doi: <https://doi.org/10.1038/nchem.609>
- [3] X. Liu and S. Handschuh-Wang, "Bismuth–Production, market and price development, and applications," *Canadian Metallurgical Quarterly*, 2025. doi: <https://doi.org/10.1080/00084433.2025.2465085>
- [4] M. Esquivel-Gaona *et al.*, "Bismuth-based nanoparticles as the environmentally friendly replacement for lead-based piezoelectrics," *RSC Advances*, vol. 5, pp. 27295–27304, 2015. doi: <https://doi.org/10.1039/C5RA02151K>
- [5] S. L. Gorbach, "Bismuth therapy in gastrointestinal diseases," *Gastroenterology*, vol. 99, no. 3, pp. 863–875, Sep. 1990. doi: [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(90\)90983-8](https://doi.org/10.1016/0016-5085(90)90983-8)
- [6] J. Amneklev, A. Augustsson, L. Sörme, and B. Bergbäck, "Bismuth and silver in cosmetic products: A source of environmental and resource concern?," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 20, no. 1, pp. 99–106, 2016.
- [7] S. Himeno, H. Fujishiro, and D. Sumi, "Bismuth," in *Handbook on the Toxicology of Metals*, 5th ed., vol. 2. Elsevier, 2021, pp. 121–139. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822946-0.00005-2>
- [8] P. Chen *et al.*, "Bi-based photocatalysts for light-driven environmental and energy applications: Structural tuning, reaction mechanisms, and challenges," *EcoMat*, 2020. doi: <https://doi.org/10.1002/eom2.12047>
- [9] P. Gao *et al.*, "A critical review on bismuth oxyhalide based photocatalysis for pharmaceutical active compounds degradation: Modifications, reactive sites, and challenges," *Journal of Hazardous Materials*, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125186>
- [10] H. Li *et al.*, "Recent advances in the application of bismuth-based catalysts for degrading environmental emerging organic contaminants through photocatalysis: A review," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110371>
- [11] X. Meng and Z. Zhang, "Bismuth-based photocatalytic semiconductors: Introduction, challenges and possible approaches," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 423, pp. 533–549, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2016.07.030>
- [12] A. H. Zahid and Q. Han, "A review on the preparation, microstructure, and photocatalytic performance of Bi₂O₃ in polymorphs," *Nanoscale*, vol. 13, no. 42, pp. 17687–17724, 2021.
- [13] M. T. Ayala-Ayala, M. Y. Ferrer-Pacheco, and J. Muñoz-Saldaña, "Manufacturing of photoactive -bismuth oxide by flame spray oxidation," *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 30, pp. 1107–1119, 2021. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-021-01182-2>
- [14] M. T. A. Ayala *et al.*, "A Bi₂O₃/carbon composite as a short-circuited cell for water purification," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 79, p. 108857, 2025.
- [15] P. Babuji *et al.*, "Human health risks due to exposure to water pollution: A review," *Water*, vol. 15, no. 14, p. 2532, 2023.
- [16] M. T. Ayala-Ayala *et al.*, "A short-circuited photo-assisted electrochemical cell for wastewater treatment," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 12, no. 4, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113269>
- [17] M. L. Salazar-Lopez *et al.*, "Surface oxidation pre-treatment on activated carbon: Effect on its cathode performance in electro-Fenton processes," *Materials Today Communications*, vol. 34, p. 105290, 2023.



INICIO



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO