

Sección: Concientífica

Los minerales como aliados en la bioingeniería

Minerals as allies in bioengineering

Jorge Luis Hernández Morelos*
Ana Karen Gálvez Larios

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, CIICAp, Cuernavaca, Morelos, México.

**Autor para la correspondencia: jorge.hernandezm@uaem.edu.mx*

RESUMEN

Los minerales son elementos o compuestos que presentan una estructura cristalina. Son formados a partir de procesos geológicos en la naturaleza y actualmente se desarrollan mediante síntesis química. Sus propiedades físicas, ópticas, estructura cristalina y composición química han permitido diversas aplicaciones en la biomedicina, la biotecnología, la bioelectrónica y la fabricación de biomateriales a escala nanométrica. La ciencia busca conocer la composición y transformación de los minerales para el desarrollo de nuevas aplicaciones bioindustriales.

Palabras clave: Minerales, estructura cristalina, biomateriales.

SUMMARY

Minerals are elements or compounds that have a crystalline structure. They are formed through geological processes in nature and are currently developed through chemical synthesis. Their physical and optical properties, crystalline structure, and chemical composition have enabled diverse applications in biomedicine, biotechnology, bioelectronics, and the fabrication of biomaterials at the nanoscale. Science seeks to understand the composition and transformation of minerals for the development of new bioindustrial applications.

Keywords: Minerals, crystal structure, biomaterials.

Los minerales, también llamados piedras naturales, se pueden definir químicamente como elementos o compuestos químicos con un ordenamiento cristalino. Se forman a partir de procesos geológicos como la solidificación del magma, rocas sedimentarias provenientes de la acumulación de sedimentos orgánicos e inorgánicos que se compactan con el tiempo, o la transformación de rocas preexistentes en rocas metamórficas (del griego *meta*, que significa “cambio”, y *morphe*, que significa “forma”). Es decir, que cambian de forma debido a condiciones físicas como el aumento de la temperatura y la presión. Al someter a los minerales a estos cambios, pueden transformarse en nuevas estructuras cristalinas que pueden tener la forma cúbica, tetragonal, romboédrica, hexagonal, etc., desarrollando propiedades físicoquímicas distintas.

El cuarzo es el mineral más abundante en la naturaleza y puede ser encontrado en la gran mayoría de rocas y suelos. Es un mineral polimórfico, es decir, puede tener distintas estructuras cristalinas. Un ejemplo es el cuarzo alfa (α -SiO₂) presenta una estructura romboédrica a temperatura ambiente. El arreglo irregular de los silicatos (SiO₄) en su estructura (ver Figura 1), le aporta la capacidad de generar energía eléctrica bajo un esfuerzo mecánico o viceversa, esta propiedad se conoce como piezoelectrica y es fácil de observar en un reloj, al pasar corriente eléctrica, el cuarzo que se encuentra en su interior se deforma, este mecanismo genera una vibración que es detectada por el disposi-

tivo y permite medir el tiempo con precisión. Gracias a esta propiedad se utiliza en instrumentos de alta sensibilidad para el estudio de la nanomedicina y la fabricación de biosensores para la detección de bacterias, proteínas, células y ADN.

Al ser un material inerte, no tóxico y biocompatible con el cuerpo humano, se utiliza en recubrimientos biomédicos. Es útil en la producción de dispositivos ópticos por su alta transparencia, así que no solo sirve para joyería o decoración, sino que tiene funciones importantes.

El cuarzo alfa puede ser transformado en otras formas llamadas tridimita (SiO₂) y cristobalita (SiO₂) al someterse a temperaturas muy elevadas, produciéndose una estructura hexagonal (> 870 °C) y cúbica (> 1470 °C), respectivamente (Ver Figura 1). Encontrar estos minerales de forma natural es poco común, pero pueden crearse fácilmente mediante síntesis química en el laboratorio. Esto ha permitido su amplio uso en la fabricación de moldes de fundición y vidrios bioactivos para la regeneración celular [2].

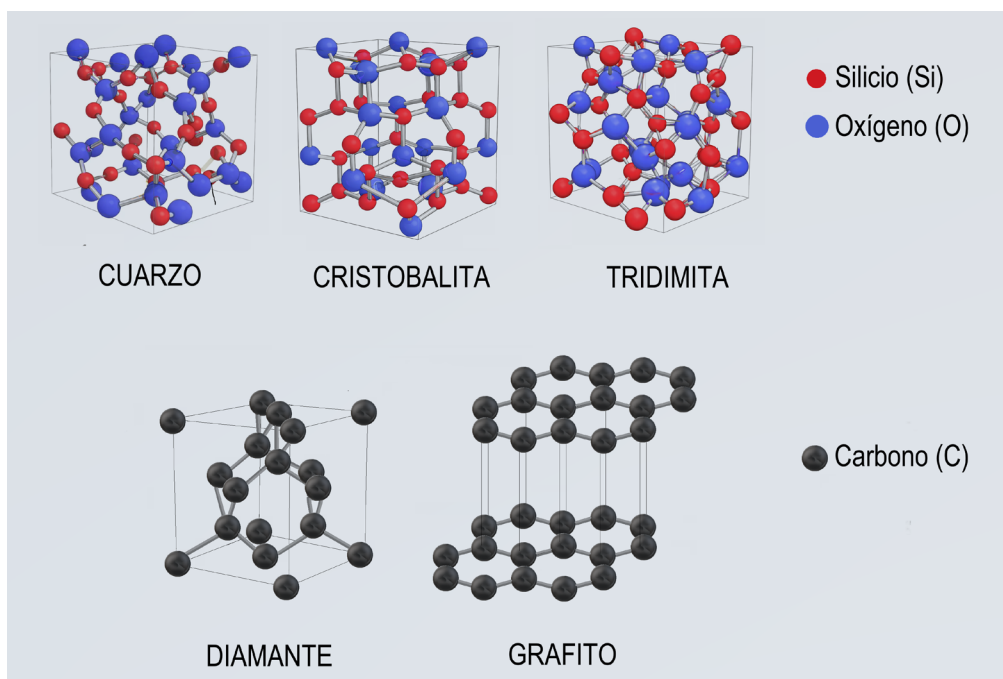


Figura 1. Estructuras cristalinas de minerales polimórficos.

Tabla 1. Biominerales inducidos por organismos vivos.

BIOMINERALES	COMPOSICIÓN QUÍMICA	ORGANISMOS QUE CONTRIBUYEN A SU FORMACIÓN
aragonita	CaCO_3	Algas, moluscos y corales
weddellita	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hongos, líquenes (hongo-alga)
whewellita	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Hongos, bacterias y plantas (espinaca)
glushinskita	$\text{Mg}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hongos
estruvita	$(\text{NH}_4) \text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bacterias productoras de ureasa
lindbergita	$\text{MnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hongos (<i>Serpula himantioides</i>)
vivianita	$\text{Fe}_3(\text{PO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Bacterias reductoras de Fe
estrengita	$\text{FePO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Bacterias oxidantes de Fe
variscita	$\text{AlPO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Hongos (<i>Penicillium</i>)
chernikovita	$(\text{H}_3\text{O})_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bacterias reductoras/oxidantes de U
urafita	$\text{NH}_4 \text{UO}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Bacterias (<i>Pseudomonas</i>)
ópalo	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Algas y plantas (fitolitos)
ferrihidrita	$5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Bacterias oxidantes de Fe
piromorfita	$\text{Pb}_4(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	Bacterias productoras de fosfato
hidroserusita	$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	Bacterias productoras de carbonato

Fuente: Gadd et al., 2012 [4].

Otros minerales que sufren transformación de su estructura cristalina son el diamante y el grafito, ambos son materiales alotrópicos del carbono, es decir, aunque químicamente idénticos, tienen estructuras diferentes. El diamante tiene una estructura cúbica en la que sus átomos de carbono forman una estructura fuerte similar a una pirámide (ver figura 1) que le confiere la mayor dureza de todos los materiales existentes. Por lo tanto, es uno de los materiales naturales más caros del mundo, mientras que el grafito tiene una estructura formada por láminas hexagonales apiladas una encima de la otra (ver Figura 1), sus átomos están unidos por enlaces débiles lo que provoca una baja dureza similar a la del talco considerándolo como uno de los materiales más blandos [3]. Existen diversos minerales que, dependiendo del arreglo de sus átomos, ob-

tienen diferentes propiedades que los hacen únicos y los ubican en múltiples aplicaciones.

Biominerales

Los biominerales son sustancias naturales creadas por seres vivos como bacterias, hongos, protozoos, animales invertebrados y plantas. Estos organismos utilizan el mecanismo de biomineralización para producir diversos minerales de composición química y estructura cristalina definida y no requieren de temperaturas o presiones extremas, se forman a temperatura ambiente.

Algunos hongos al secretar ácidos como parte natural de su proceso de digestión pueden descomponer minerales que contienen

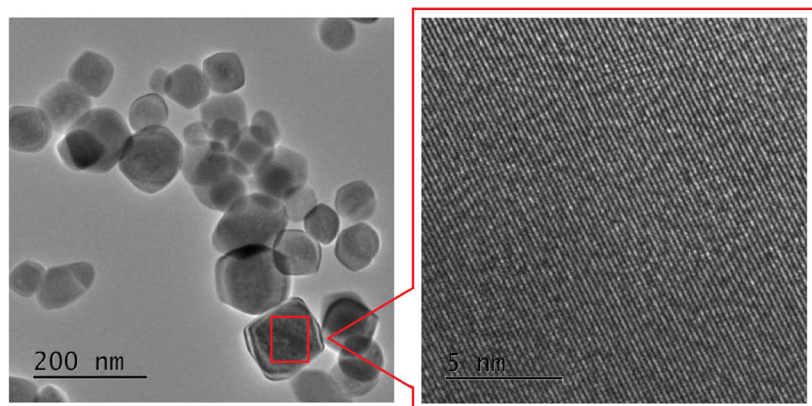


Figura 2. Nanopartículas de óxido de hierro visibles en microscopio de alta resolución. Adaptado de Hjiri et al., 2019 [6].

principalmente carbonatos de calcio (CaCO_3) como las conchas de mar, corales marinos, así como la caliza y el mármol, utilizados en la construcción de edificios. Este mecanismo provoca la formación de otros minerales. En la Tabla 1 se enlistan diversos biominerales en los que principalmente bacterias y hongos contribuyen a su formación [4].

Existen minerales fundamentales para el ser humano como la bauxita, que es un mineral compuesto de una mezcla de otros minerales: alúmina (Al_2O_3), hematita (Fe_2O_3) y cuarzo (SiO_2). Para su formación bacterias y hongos en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) descomponen la roca madre (protobauxita) para liberar aluminio (Al), hierro (Fe) y silicio (Si), que posteriormente precipitan como óxidos, dando origen al mineral. La bauxita es importante porque representa la principal materia prima de extracción del aluminio, útil para la fabricación de una gran cantidad de equipos y dispositivos, en forma de alúmina se usa en implantes médicos y filtros para la purificación del agua y del aire [5].

Minerales en la nanotecnología

La nanotecnología es una ciencia que se encarga del desarrollo de nuevos materiales y dispositivos a escala nanométrica, en el orden de 100 a 0.2 nm, tan diminutos que el ancho

de un cabello delgado (50,000 nm) resulta gigante y para observar su forma y tamaño se usan microscopios de alta resolución (ver Figura 2).

Muchos minerales que existen a escala macroscópica están siendo modificados a escala nanométrica para mejorar sus propiedades físicas y químicas. Por ejemplo, las zeolitas son minerales formados por alúmina y cuarzo. En su estructura tienen microporos del tamaño de 0.3 a 2 nm que les permiten hidratarse y deshidratarse fácilmente, esta propiedad es importante para su uso en el tratamiento de aguas residuales porque pueden atrapar compuestos tóxicos presentes en el agua como el amoníaco y metales pesados (mercurio, cadmio, arsénico y plomo) a través de sus poros. En la agricultura son utilizadas como insecticidas, pesticidas y fertilizantes, también sirven como sustrato para el cultivo de plantas hidropónicas en misiones espaciales. Con el paso del tiempo surgió la necesidad de modificar las zeolitas a tamaño nanométrico menor a 20 nm, lo que resulta en una mejor porosidad y capacidad de adsorción para la detección y eliminación de diversos contaminantes ambientales, incluyendo hidrocarburos, monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Pueden ayudar a la regeneración de tejidos óseos y cicatrización de heridas ya que tienen la capacidad de transportar oxígeno a las células y se añaden en forma de polvos o suspensiones coloidales [7].

Hay una variedad de minerales de óxido de hierro, como la hematita (Fe_2O_3), la magnetita (Fe_3O_4), la maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y la wüstita (FeO). La hematita fue uno de los primeros pigmentos naturales en utilizarse en la historia por su tono rojizo y junto con la magnetita son utilizadas para la producción de hierro y acero.

Actualmente se sintetizan nanopartículas de hematita y magnetita, para aplicaciones en

biomedicina, como en resonancia magnética y tratamientos contra el cáncer. Al acercar un clavo a la magnetita, este será atraído por su fuerte magnetismo que exhibe. Por lo tanto, las nanopartículas de este mineral se utilizan para eliminar metales pesados, su magnetismo natural le permite atraer a los contaminantes facilitando su eliminación.

Otra variedad de minerales son los sulfuros de hierro como la mackinawita (Fe_9S_8), la troilita (FeS), la greigita (Fe_3S_4) y la pirita (FeS_2), siendo la pirita el mineral más abundante en la superficie terrestre. La mackinawita también se usa en la eliminación de metales pesados por su propiedad magnética. La troilita es un componente común en meteoritos, por lo que solo es importante en investigaciones científicas. Las nanopartículas de greigita se suman a la lista de tratamientos para destruir células cancerosas y finalmente la pirita conocida a lo largo de la historia como el “oro de los tontos” por su aspecto amarillento similar al oro, es utilizada para la producción de ácido sulfúrico. Se han identificado nanopartículas de pirita que se forman en fuentes hidrotermales conocidas comúnmente como aguas termales donde el agua brota naturalmente del suelo y se sintetizan bajo condiciones similares a las naturales para la fabricación de paneles solares [8]. La síntesis de nanopartículas ha crecido en la actualidad y se pueden obtener de la mayoría de los minerales conocidos, ofrecen diversas aplicaciones gracias a sus variadas composiciones, estructuras y tamaños que les proporcionan propiedades físicas y químicas específicas.

Conclusión

Los minerales han sido y serán importantes en diversas áreas de la ciencia y la tecnología. Pueden encontrarse de forma natural o desarrollarse mediante síntesis química, modificando su estructura cristalina, composición y tamaño, obteniendo minerales idénticos a los

naturales o mejorando sus propiedades. Esto contribuye a la preservación de los recursos naturales al reducir la extracción de minerales y proteger el planeta. Además, permite a la ciencia continuar diseñando nuevos materiales o dispositivos que mejoran nuestra calidad de vida.

Referencias

- [1] Adewale, A. A. (2023). Mineral Processing Technology (1st Edition), CRC Press, 324. <https://doi.org/10.1201/9781003323433>
- [2] Götze, J., Pan, Y. & Müller A. (2021). Mineralogy and mineral chemistry of quartz: A review. *Mineralogical Magazine*, 85, 639–664. <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.72>
- [3] Falcao, E. & Wudl, F. (2007). Carbon allotropes: beyond graphite and diamond. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82:524–531. <https://doi.org/10.1002/jctb.1693>
- [4] Gadd, G. M, Rhee, Y. J., Stephenson, K., & Wei, Z. (2012). Geomycology: metals, actinides and biomine-rals. *Environmental Microbiology Reports*, 4(3), 270–296. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2011.00283.x>
- [5] Hao, X., Leung, K., Wang, R., Sun, W., & Li, Y. (2010). The geomicrobiology of bauxite deposits. *Geoscience Frontiers*, 1, 1, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2010.06.001>
- [6] Hjiri, M., Aida, M. S., & Neri, G. (2019). NO₂ selective sensor based on $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles synthesized via hydrothermal technique. *Sensors*, 19(1), 167. <https://doi.org/10.3390/s19010167>
- [7] Bacakova, L., Vandrovicova, M., Kopova, I. & Jirka, I. (2018). Applications of zeolites in biotechnology and medicine – a review. *The Royal Society of Chemistry*, 6, 5, 974–989. <https://doi.org/10.1039/C8BM00028J>
- [8] Rickard, D., & Luther, G. W. I. (2007). Chemistry of Iron Sulfides. *Chemical Reviews* 107, 514–562. <https://doi.org/10.1002/chin.200719200>