



La revolución de los poros

Ingrid Guadalupe Meza Pardo ^a

Resumen – La mayoría de los materiales que nos rodean son porosos, es decir, con huecos que permiten almacenar sustancias. Estos huecos, que llamamos poros, vienen en formas y tamaños diversos, y los encontramos tanto en materiales naturales como en sintéticos. Dentro de los materiales sintéticos tenemos a los fascinantes MOFs, estructuras metal-orgánicas que forman redes en dos o tres dimensiones con formas espaciales ordenadas y de apariencia cristalina. Su composición química les confiere propiedades únicas como alta área superficial, estabilidad física, química y térmica, haciéndolos adecuados para una amplia gama de aplicaciones. Los MOFs pueden emplearse para almacenar gases, separar moléculas, realizar reacciones catalíticas, y sorprendentemente para tratar ciertas enfermedades. Este artículo de divulgación científica proporciona una visión general de los materiales porosos, particularmente de los MOFs, abarcando desde su estructura y composición química hasta sus más novedosas y prometedoras aplicaciones. Está dirigido tanto a público especializado como no especializado.

Palabras clave – Porosidad, Materiales Sintéticos, MOF, Estructuras Metal-Orgánicas, Aplicaciones.

Abstract – Most of the materials that surround us are porous, meaning they have spaces that allow substances to be stored. These gaps, called pores, come in a variety of shapes and sizes and are found in both natural and synthetic materials. Among synthetic materials, we have the fascinating metal-organic frameworks (MOFs), which are metal-organic structures that form networks in two or three dimensions with ordered spatial shapes and crystalline appearance. Their chemical composition gives them unique properties such as high surface area, physical, chemical and thermal stability, making them suitable for a wide range of applications. MOFs can be used to store gases, separate molecules, catalyze reactions and, surprisingly, treat certain diseases. This scientific outreach article provides an overview of porous materials, particularly MOFs, from their structure and chemical composition to their latest and most promising applications. It is intended for both specialized and non-specialized audiences.

Keywords – Porosity, MOF, Metal Organic Frameworks, Applications, Synthetic Materials.

CÓMO CITAR HOW TO CITE:

Meza Pardo, I. G. (2024). La revolución de los poros. *Interconectando Saberes*, (18), 257-262. <https://doi.org/10.25009/is.v0i18.2859>

Recibido: 20 de febrero de 2024

Aceptado: 7 de junio de 2024

Publicado: 25 de octubre de 2024

^a Instituto de Física de la UASLP, México. E-mail: ingrid.mezap@gmail.com



INTRODUCCIÓN

Alguna vez te has preguntado ¿qué es un material poroso?, ¿cuál es su origen?, o ¿para qué sirven? partiendo de estas preguntas, exploremos el apasionante mundo de los poros.

Al finalizar esta lectura tendrás una idea general sobre las características de los materiales porosos, particularmente de los denominados MOFs, los cuales son una nueva clase de materiales sintéticos que pueden ser utilizados en una amplia variedad de aplicaciones. Los MOFs, son estructuras cristalinas que forman redes en dos o tres dimensiones y están hechos químicamente de la unión de átomos metálicos y moléculas orgánicas, obteniendo propiedades únicas, como porosidad, estabilidad química, física y térmica, entre otras.

Actualmente, los MOFs han despertado el interés en la comunidad científica por su aplicabilidad en áreas de almacenamiento de gases, detección óptica, conductividad eléctrica y, sorprendentemente, como agentes potenciales para el diagnóstico y tratamiento de cáncer.

LOS MATERIALES Y SUS POROS

Los poros son espacios vacíos en ciertos materiales, conocidos como “materiales porosos” que permiten almacenar sustancias en su interior. Aunque la porosidad presenta ventajas como menor peso y aislamiento térmico o acústico, también tiene desventajas, como baja resistencia mecánica, sensibilidad a la degradación y dificultad para determinar sus propiedades.

Estos materiales se encuentran en nuestro día a día, como la esponja con la que lavamos los trastes, que comúnmente está hecha de un tipo de plástico llamado poliuretano. Al entrar en contacto con un líquido la esponja comienza a hincharse, es decir, sus poros

absorben y retienen el líquido en su interior hasta que un estímulo, como nuestra mano al apretarla, haga que salga. De manera similar, nuestra piel tiene esas aberturas llamadas poros para cubrir funciones específicas como liberar sudor o grasa. Cuando los poros de nuestra piel no funcionan correctamente, almacenan células muertas y polvo formando los famosos ‘puntos negros’. Como estos ejemplos, existen muchos más donde los poros hacen presencia.

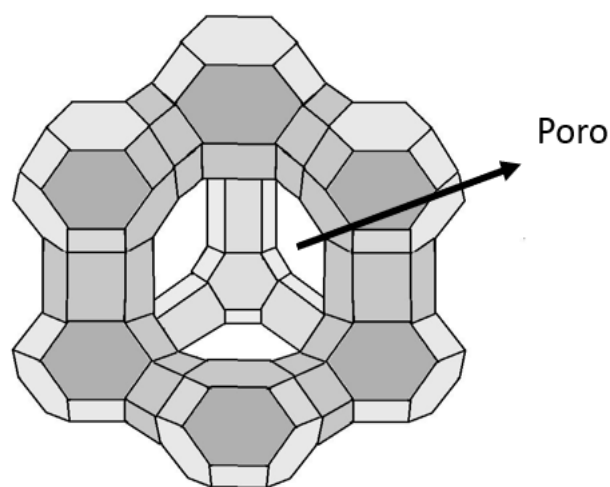
Estas cavidades pueden ser de tamaño microscópico, equivalente a la milésima parte de un milímetro, es decir, tan diminutos como la punta de una aguja o de dimensiones similares a ciertas células o microorganismos que no podemos observar a simple vista. Incluso existen poros más pequeños, se encuentran en la escala nanométrica que equivale a la millonésima parte del milímetro (1 nm= 0.000001 mm). Por esta razón, algunos materiales pueden aparentar ser lisos y no tener poros en su superficie. Sin embargo, si se observan a través de un microscopio, que es una herramienta que nos permite ver objetos con aumento a través de unas lupas muy poderosas, nuestra percepción visual cambiaría y lograríamos identificar textura y huecos. En este sentido, la mayor parte de los materiales que nos rodean presentan poros, todo dependerá del ojo, o más bien de la lente y luz con la que los analicemos.

Existe muchos materiales con poros en su estructura, como las zeolitas. Las zeolitas son formaciones sólidas que se pueden encontrar en la naturaleza o crear en un laboratorio, están compuestas en su mayoría por dos elementos: el sodio, que está presente en la mayoría de los alimentos en su forma más común como cloruro de sodio, que es la sal de cocina, y el calcio que permite que los huesos sean fuertes. Estas

formaciones tienen distintas coloraciones; pueden ser blancas, grises, rojas, o de otro color dependiendo de factores como la presencia de partículas extrañas, llamadas impurezas. Las zeolitas contienen partículas extremadamente pequeñas llamadas átomos, que están organizadas tridimensionalmente en figuras geométricas con aristas y caras bien establecidas (ver Figura 1). Esta estructura geométrica única otorga porosidad a las zeolitas (J.V. Smith, 1984).

Figura 1

Representación de la estructura básica de una zeolita y su porosidad



¿Alguna vez has visto el contenido de los filtros purificadores de agua? Lo que parece ser arena incolora o blanca es en realidad zeolita, que sirve para tratar el agua potable. Imagina que la zeolita es como una esponja que puede absorber cosas sucias y mantenerlas guardadas en su interior, pero no es cualquier esponja, es una esponja con agujeros muy pequeños que sólo pueden atrapar cierto tipo de contaminantes que están en el agua, así, cuando la zeolita entra en contacto con agua sucia esas impurezas se quedan atrapadas en sus agujeros y el agua sale más limpia, lo que la hace segura para su uso.

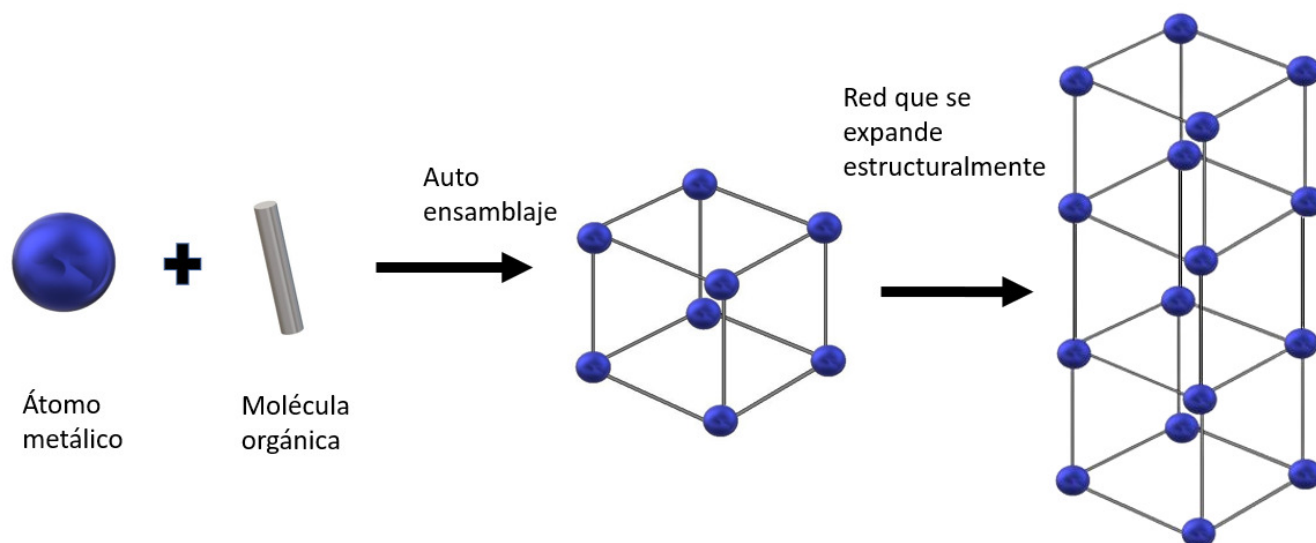
Sin embargo, el uso de las zeolitas tiene algunas desventajas como no poder reutilizarlas muchas veces, limitando su vida útil, igualmente algunos tipos de zeolitas pueden contener sustancias que son tóxicas para la vida. No obstante, el mundo de los materiales porosos no se limita a las zeolitas. Investigadoras e investigadores trabajan en el desarrollo de materiales con características similares a las zeolitas, pero con forma y tamaño mejorado, como es el caso de los MOFs por sus siglas (Metal Organic Frameworks) en inglés.

LOS MOFs: ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

Los MOFs son materiales diseñados y fabricados en laboratorios a partir de átomos metálicos y pequeñas uniones con elementos que forman moléculas orgánicas. Estas moléculas están compuestas de los elementos que forman los organismos vivos. Ahora, imagina que estás jugando a armar un edificio con bloques de construcción de plástico, pero en lugar de plástico estos bloques están hechos de metal y moléculas orgánicas que generan una red que se expande estructuralmente hacia otras dimensiones. (ver Figura 2). Los MOFs son sólidos con distintas coloraciones que pueden ir desde el blanco hasta el negro su color depende de las condiciones químicas o ambientales en las que se encuentre. Su forma puede variar dependiendo del lugar que tomen los átomos en el momento de su construcción, las formas más comunes son cubos, prismas, esferas, cilindros, etc.

Figura 2

Representación de la estructura y crecimiento de un MOFs



Lo más relevante de estos materiales es que, al igual que las zeolitas, tienen pequeños espacios en su construcción, como si fuera una caja con distintos compartimientos que puede atrapar y guardar cosas muy pequeñas, lo que los hace muy útiles.

Además, han cautivado a la comunidad científica por su estabilidad fisicoquímica y térmica, su gran versatilidad de diseño, su porosidad y su gran área superficial, que está determinada por la superficie del exterior e interior poroso. Esto se debe a sus fuertes enlaces metálicos, a su estructura ordenada y regular, y a la capacidad de almacenar o soltar moléculas pequeñas.

Estas propiedades los han convertido en materiales muy importantes en la producción y almacenamiento de energía, en la seguridad y control de calidad de sustancias químicas, en la producción de materiales avanzados para electrónica y también como contenedores o vehículos que liberen fármacos para ayudar en el tratamiento contra el cáncer (Wu & Yang,

2017). Por lo tanto, la ciencia ha fijado su atención en los MOFs como materiales revolucionarios.

¿CÓMO LOS MOFs ESTÁN REVOLUCIONANDO LA MEDICINA?

Los MOFs tienen ventajas sobre los sistemas de liberación de fármacos convencionales debido a su alta área superficial y porosidad, lo que les permite actuar como contenedores de fármacos y liberarlos de manera controlada dependiendo de las condiciones de su entorno. Como resultado, los fármacos pueden administrarse con mayor precisión y eficacia, lo que reduce efectos indeseados que puede ir desde irritación hasta lesiones en órganos como el riñón. En el futuro esto puede ayudar a las personas a sanar enfermedades al dirigir medicamentos exactamente donde se necesitan y en la cantidad correcta, lo que los hace más seguros y eficientes. Los MOFs son considerados revolucionarios porque transforman el tratamiento de una gran variedad de enfermedades, incluido el cáncer.

Tabla I

Estudios sobre el uso de MOFs en el tratamiento de diferentes tipos de cáncer

Año	MOF utilizado	Composición química	Aplicación	Ref.
2018	PCN-333	Molécula orgánica: ácido <i>p</i> -Cianobenzoico metal: aluminio	Evaluación in vitro de la activación y liberación de paracetamol como profármaco para inhibir la multiplicación celular en cáncer de ovario.	(Lian et al., 2018)
2019	MIL-100	Molécula orgánica: ácido trimésico metal: hierro	Evaluación in vitro e in vivo de una terapia combinada de quimioterapia y terapia fototérmica, para inducir la muerte de células de cáncer de colon.	(Yao et al., 2019)
2019	Cu-MOF-NP	Molécula orgánica: 1,2-Diaminobenceno y ácido 5-aminoisoftálico metal: cobre	Identificación temprana del cáncer de hígado a través de la detección de alfa feto proteína en muestras de suero humano.	(Sheta et al., 2019)
2020	ZIF-8	Molécula orgánica: ácido 2-metilimidazol metal: zinc	Evaluación in vitro e in vivo como agente fotodinámico para provocar muerte celular de células de cáncer de mama.	(Zhang et al., 2020)
2021	MIL-53(Fe)	Molécula orgánica: ácido 2-hidroxitereftálico metal: hierro	Evaluación in vitro de la liberación controlada del fármaco doxorubicina para el tratamiento de cáncer de mama	(Li et al., 2021)

La Tabla I presenta de forma general información relevante de investigaciones que han estudiado los MOFs y han logrado avances científicos. Estos desarrollos nos permiten conocer los alcances de la investigación en distintos tipos de tumores malignos.

De acuerdo con lo anterior, las investigadoras e investigadores han centrado su investigación en la síntesis de MOFs para su uso en el tratamiento o diagnóstico del cáncer, proporcionando una plataforma de vanguardia en medicina. Es evidente que los MOFs, han adquirido gran relevancia en la investigación, gracias a los beneficios que ofrecen en términos de seguridad y eficacia.

CONCLUSIONES

El desarrollo de materiales porosos puede tener ventajas y desventajas, esto depende de su aplicación y las propiedades que tenga el material. Los MOFs, por su parte, han facilitado una amplia gama de aplicaciones debido a su porosidad. Esto cataloga a los MOFs como excelentes materiales enfocados en el almacenamiento y liberación controlada de medicamentos. No obstante, es muy importante continuar con el desarrollo de investigación dirigida a los MOFs para indagar sobre nuevos campos de aplicación e innovar los existentes. Por lo tanto, esto es sólo el inicio de una aventura enfocada al uso de nuevos materiales para ampliar la ventana del conocimiento para prevenir, tratar o erradicar enfermedades de índole mundial.

AGRADECIMIENTOS

Las y el autor agradecen el apoyo de CONACyT a través del proyecto Ciencia de Frontera número 102986. I.G. Meza-Pardo agradece a CONACyT por la beca otorgada a través del programa “Estancias posdoctorales por México: Modalidad Incidencia”.

Zhang, L., Gao, Y., Sun, S., Li, Z., Wu, A., & Zeng, L. (2020). PH-Responsive metal-organic framework encapsulated gold nanoclusters with modulated release to enhance photodynamic therapy/chemotherapy in breast cancer. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(8), 1739–1747. <https://doi.org/10.1039/c9tb02621e>

REFERENCIAS

- J.V. Smith. (1984). Definition of a zeolite. *Elsevier*, 4(Zeolites), 309–310. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0144-2449\(84\)90003-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0144-2449(84)90003-4)
- Li, A., Yang, X., & Chen, J. (2021). A novel route to size-controlled MIL-53(Fe) metal-organic frameworks for combined chemodynamic therapy and chemotherapy for cancer. *RSC Advances*, 11(18), 10540–10547. <https://doi.org/10.1039/d0ra09915e>
- Lian, X., Huang, Y., Zhu, Y., Fang, Y., Zhao, R., Joseph, E., Li, J., Pellois, J. P., & Zhou, H. C. (2018). Enzyme-MOF Nanoreactor Activates Nontoxic Paracetamol for Cancer Therapy. *Angewandte Chemie - International Edition*, 57(20), 5725–5730. <https://doi.org/10.1002/anie.201801378>
- Sheta, S. M., El-Sheikh, S. M., Abd-Elzaher, M. M., Salem, S. R., Moussa, H. A., Mohamed, R. M., & Mkhaldid, I. A. (2019). A novel biosensor for early diagnosis of liver cancer cases using smart nano-magnetic metal–organic framework. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(12). <https://doi.org/10.1002/aoc.5249>
- Wu, M. X., & Yang, Y. W. (2017). Metal–Organic Framework (MOF)-Based Drug/Cargo Delivery and Cancer Therapy. *Advanced Materials*, 29(23). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/adma.201606134>
- Yao, J., Liu, Y., Wang, J., Jiang, Q., She, D., Guo, H., Sun, N., Pang, Z., Deng, C., Yang, W., & Shen, S. (2019). On-demand CO release for amplification of chemotherapy by MOF functionalized magnetic carbon nanoparticles with NIR irradiation. *Biomaterials*, 195, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2018.12.029>