

Artículo



Revista

Ciencia
y Naturaleza

MOFs: nanopartículas biocompatibles y antibacterianas para la salud

Rosa Bonilla Peregrino
Beatriz L. España Sánchez
Manuel de Jesús Aguilar Vega
Rita del Rosario Sulub Sulub
Ángel de Jesús Montes Luna

1105



Artículo

MOFs: nanopartículas biocompatibles y antibacterianas para aplicaciones en el área de la salud



Cómo citar este artículo: Bonilla-Peregrino R, España-Sánchez BL, Aguilar-Vega MJ, Sulub-Sulub RR, Montes-Luna ÁJ. 2024. MOFs: nanopartículas biocompatibles y antibacterianas para la salud . Revista Ciencia y Naturaleza (1105)





¿Qué son los MOFs?

Las estructuras organometálicas (MOFs), son un tipo de nanopartículas (partículas con un tamaño entre 1 a 100 nm), que tienen la cualidad de ser cristalinas y porosas. Los MOFs están formados por un componente metálico, por ejemplo cobre (Cu) y un componente orgánico (ligante). Las diferentes combinaciones de ambos componentes han dado la posibilidad de diseñar nuevas estructuras con geometrías únicas y propiedades especiales para la aplicación en el área de la salud. El oro (Au), la plata (Ag), el hierro (Fe), el zinc (Zn) y el cobre, son los elementos metálicos utilizados por excelencia en la síntesis de MOFs antibacterianos [1, 2].



Los MOFs antibacterianos son aquellos que muestran una excelente actividad para matar a las bacterias (los organismos más pequeños capaces de vivir de forma independiente) que causan graves enfermedades como las infecciones. Los MOFs con un grupo metálico de cobre (Cu-MOFs), tienen destacadas aplicaciones en el área de la salud en virtud de su excelente capacidad para cumplir su función sin causar un efecto indeseable en el huésped, es decir son “biocompatibles” [1, 2].



Actividad antibacteriana

Las enfermedades infecciosas son una de las principales causas de muerte en todo el mundo, por las que se pierden millones de vidas cada año. Los antibióticos son medicamentos que ayudan a matar a las bacterias que originan las infecciones, pero las bacterias cada día se hacen más fuertes al efecto de los antibióticos, generando una resistencia bacteriana.

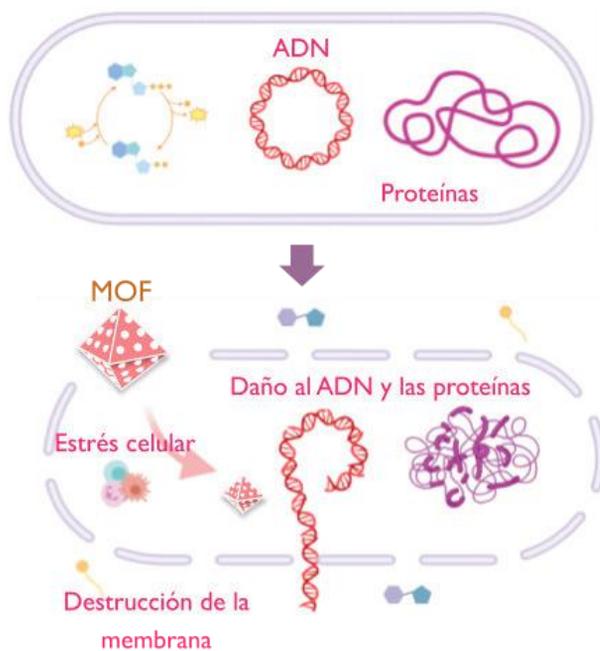


Figura 1. Mecanismo de ataque provocado por un MOF a una bacteria.

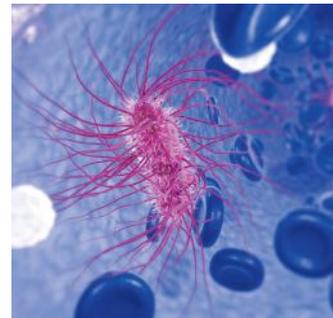
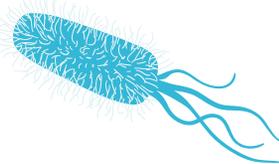
Los MOFs son una nueva clase de materiales que puede prevenir la actividad de las bacterias que provocan infecciones mortales. Los MOFs pueden provocar daño a las bacterias destruyendo su membrana celular, dañando su material genético y causándoles estrés celular (figura 1) [3].



Resistencia bacteriana

En esta pelea entre los antimicrobianos y las bacterias se vale de todo, y las bacterias han mostrado ser capaces de defenderse y desarrollar una fuerte resistencia a los antibióticos.

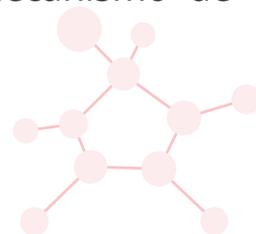
¿Las bacterias serán capaces de responder al fuerte ataque de los MOFs?



Investigaciones recientes han mostrado que las bacterias han intentado defenderse de los MOFs activando los genes que expresan los componentes principales de la membrana celular (la membrana de las bacterias que protege los componentes del interior de estas). Sin embargo, los resultados no son

concluyentes, debido a la complejidad en la estructura del material. Las bacterias también pueden responder activando un mecanismo de movimiento llamado “quimiotaxis bacteriana” que ayuda a la bacteria a evadir ambientes difíciles, escapar del peligro y avanzar hacia sitios seguros. Aún así, los MOFs han mostrado dañar este mecanismo de supervivencia de las bacterias [4].

Beneficios para el cuidado de la piel



Las propiedades antes mencionadas de biocompatibilidad y actividad antibacteriana convierten a los MOFs en un material seguro y funcional para utilizarse en formulaciones de la piel.



En una piel saludable es importante mantener un equilibrio entre la hidratación y los lípidos, es decir, conservar una piel hidratada, con la cantidad suficiente de agua, y libre de un exceso de grasa (ejemplo de lípidos, el ácido oleico y los triglicéridos) que eventualmente se suele acumular. En este contexto, los MOFs han mostrado tener la capacidad para eliminar el exceso de sebo mientras se mantiene la humedad de la piel. Sin embargo, este es un tema desconocido, pero con muchas áreas de oportunidad para más investigaciones y futuras aplicaciones [5].

Mejora la cicatrización

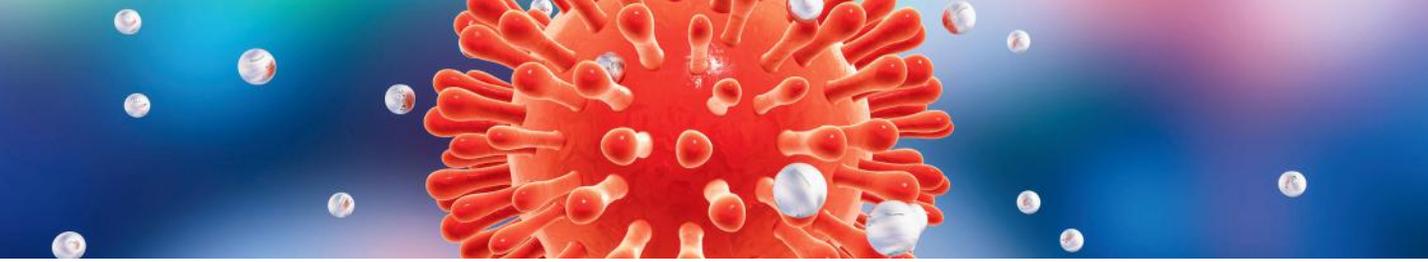
Los MOFs también pueden mejorar el proceso de cicatrización disminuyendo el tiempo que tarda en sanar una herida, y su actividad antibacteriana previene las posibles infecciones.



¿Conoces el proceso de curación de una herida?

Cuando ocurre una lesión en la piel se forma una herida y el proceso de curación comienza al instante, el tejido dañado es restaurado mediante procesos altamente especializados que hoy en día todavía son investigados. De manera simplificada, el inicio de la reparación de la piel comienza la producción de colágeno, una proteína muy importante para la formación del nuevo tejido necesario para la curación de la herida. Siendo así, que la herida es reparada por el nuevo tejido conectivo que rellena el espacio.





Así mismo, los vasos sanguíneos dañados son restaurados mediante la angiogénesis, el proceso donde se forman nuevos vasos sanguíneos, que son los tubos a través de los cuales se transporta la sangre a todos los tejidos [6, 7].



¿Cómo mejorar los MOFs el proceso de curación?

Los MOFs se han incluido en apósitos de hidrogel, cuya función ha sido mejorar la cicatrización de heridas y eliminar a las bacterias del sitio de corte. El hidrogel funciona como un soporte para que los Cu-MOFs puedan ser liberados de manera controlada, los cuales inducen la angiogénesis y la producción de colágeno, los cuales sabemos que son necesarios en el proceso de reparación de la piel (figura 2) [1].

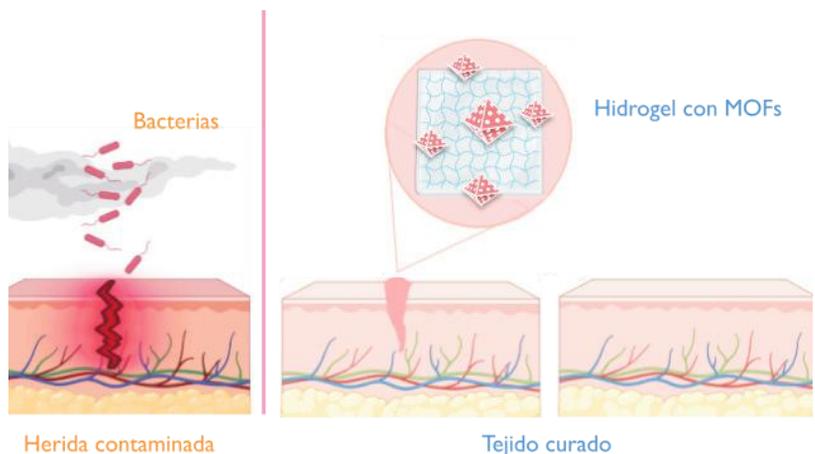


Figura 2. Proceso mejorado de curación de una herida utilizando un apósito de hidrogel con MOFs.

Tratamiento mejorado de enfermedades

Que el medicamento una vez administrado viaje específicamente al lugar de la enfermedad es muy importante, para mejorar la efectividad del tratamiento y evitar los efectos secundarios que suceden cuando los medicamentos tienen contacto con partes del cuerpo sanas, y que limitan el tratamiento de muchas enfermedades [8].



Los MOFs son una clase de vehículo, donde se transportan medicamentos de manera segura por el interior del cuerpo. Los MOFs al tener una estructura altamente porosa, cuentan con abundantes sitios disponibles, donde las moléculas de los medicamentos quedan guardadas de forma protegida, evitando que el cuerpo las degrade en el viaje, hasta que sean liberadas específicamente en donde se les necesita (figura 3).

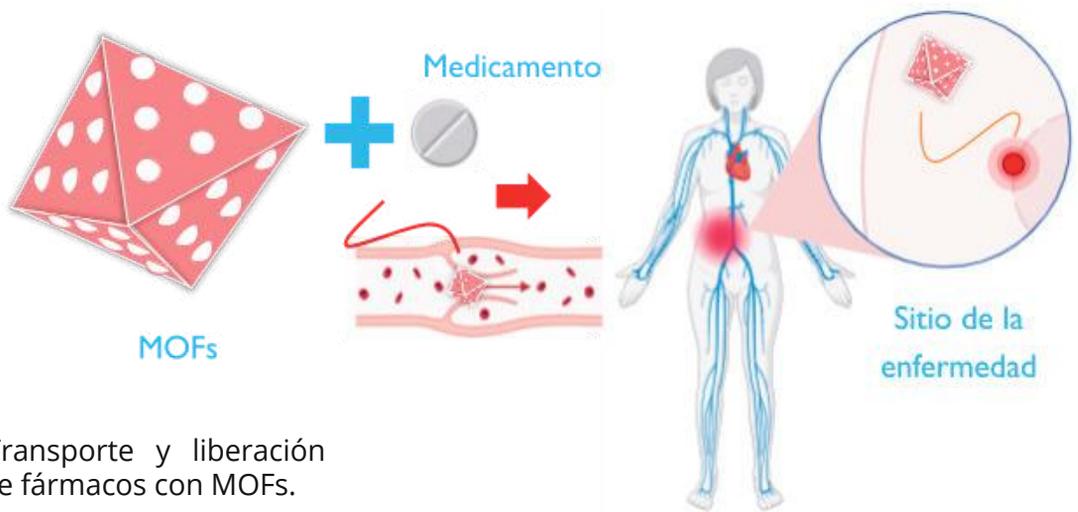


Figura 3. Transporte y liberación controlada de fármacos con MOFs.

Una vez que el medicamento se encuentre en el sitio de acción, controlar su liberación es otro paso importante. Los hidrogeles que sirven como vehículo liberador de MOFs son muy sensibles, pueden detectar pequeños cambios del ambiente a su alrededor (en el exterior), por lo que se utilizan estímulos tales como el pH y la temperatura, para controlar la liberación de los medicamentos. Por ejemplo, los hidrogeles que encapsulan los MOFs y los fármacos son sensibles al pH, funcionan guardando los antibióticos en su interior en un ambiente de pH neutro (pH=7) y la liberación de los mismos sucede en un pH bajo (ácido).

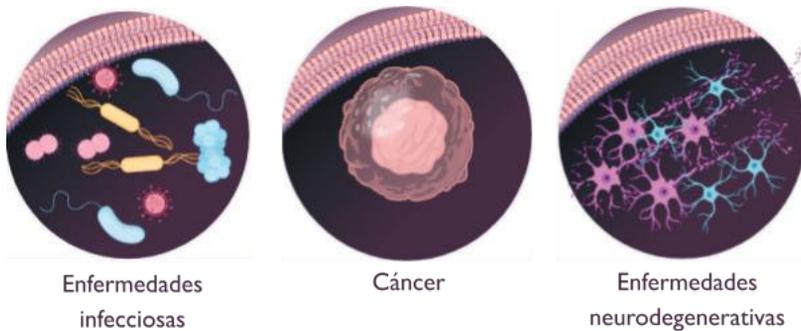
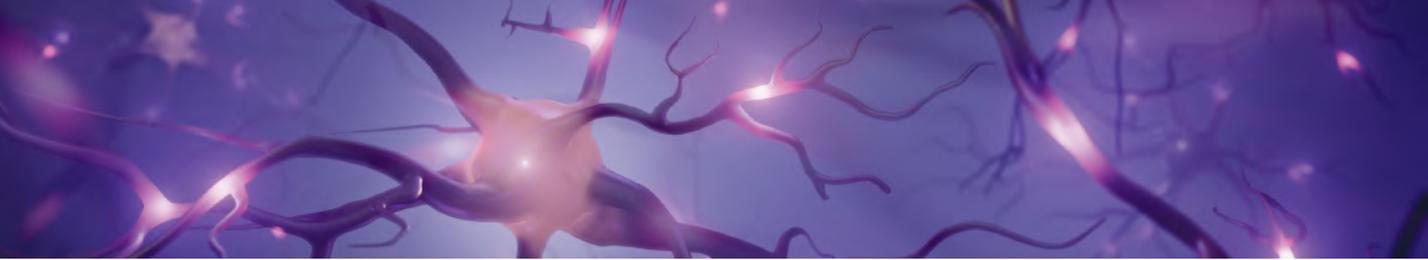


Figura 4. Aplicaciones de los MOFs como sistemas de administración de fármacos para el tratamiento de enfermedades infecciosas, cáncer, y enfermedades neurodegenerativas.

En este sentido, los MOFs se pueden utilizar para mejorar el tratamiento de enfermedades como el cáncer, enfermedades infecciosas y enfermedades neurodegenerativas (figura 4), a través de la administración de fármacos y moléculas con funciones biológicas esenciales, como los ácidos nucleicos (ADN y ARN), proteínas, lípidos y carbohidratos, que poseen ciertas ventajas para el tratamiento estas enfermedades, tales como, alta eficacia terapéutica, mejor especificidad y menos efectos secundarios. 🍀

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por CONAHCYT México a través del proyecto PPA082 “Análisis de mecanismos de resistencia bacteriana al contacto con nanomateriales”. De la misma forma, se agradece al programa de becas CONAHCYT, por la beca otorgada con número CVU 1242011. Los autores también agradecen al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. y al Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. por los recursos de infraestructura, conocimientos y apoyo brindados.

Para Consulta

- ❄️ [1] Humphreys S, Martínez A, Hernández O, et al. 2023. Green synthesis of copper nanoparticles and their formulation into face masks: An antibacterial study. *Polymer Composites* 44(2): 907-916. <https://doi.org/10.1002/pc.27142>



- ❁ [2] Cun JE, Fan X, Pan Q, *et al.* 2022. Copper-based metal-organic frameworks for biomedical applications. *Advances in Colloid and Interface Science* 305: 102686. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2022.102686>
- ❁ [3] Nong W, Wu J, Ghiladi RA, *et al.* 2021. The structural appeal of metal-organic frameworks in antimicrobial applications. *Coordination Chemistry Reviews* 442. <https://doi.org/10.1016/J.CCR.2021.214007>
- ❁ [4] Liang C, Zhong Q, Pan L, *et al.* 2023. Organic ligands regulate the environmental impacts of metal-organic frameworks on nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter vinelandii*. *Journal of Hazardous Materials* 452: 131373. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2023.131373>
- ❁ [5] Duan W, Qiao S, Zhuo M, *et al.* 2021. Multifunctional Platforms: Metal-Organic Frameworks for Cutaneous and Cosmetic Treatment. *Chem* 7(2): 450-462. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMPR.2020.11.018>
- ❁ [6] Arenas J. 2003. (Dermatología) Las heridas y su cicatrización. *Offarm: farmacia y sociedad*, 22(5): 126-132.
- ❁ [7] Luna H, Cruz S, Padilla V, *et al.* 2017. Combined antibacterial/tissue regeneration response in thermal burns promoted by functional chitosan/silver nanocomposites. *International journal of biological macromolecules* 105: 1241-1249. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.159>
- ❁ [8] Drug Delivery Systems. (n.d.). Retrieved January 14, 2024, from <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/drug-delivery-systems-getting-drugs-their-targets-controlled-manner>

Crédito de imágenes en orden de aparición: Science Photo Library, Science Photo Library, dra_schwartz (Getty Images Signature, GIS), mphilips007 (GIS), Science Photo Library, liliikyrylenko, TopMicrobialStock (Getty Images, GI), partikusi design, Fluid Design (Fluid Design Images), Fluid Design (Fluid Design Images), Pakete, Drawlab19, selvanegra (GI), Science Photo Library, Pepermpron, Science Photo Library, Science Photo Library, Evgenii Kovalev (GIS), Adeel Anjum (EncoderXSolutions), enot-poloskun (GIS), Adeel Anjum (EncoderXSolutions), Science Photo Library, Science Photo Library. Crédito de figuras: Proporcionadas por los autores.

Diseño: Isis G. Tovar De La Cruz

Eduardo Aguayo Leyva
Editor Asociado Revista CyN



I.B.Q. Rosa Bonilla Peregrino

Estudiante de maestría con especialidad en Ingeniería Ambiental en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ). Es Ingeniera Bioquímica, y su tema de investigación se centra en el desarrollo de estructuras organometálicas (MOFs) con actividad antibacteriana. **Contacto:** rbonilla@cideteq.mx



Dra. Beatriz Liliana España Sánchez

Investigadora en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), sus líneas de investigación se enfocan al desarrollo de nanomateriales antimicrobianos y análisis de mecanismos de resistencia bacteriana al contacto con nanomateriales. **Contacto:** lespana@cideteq.mx



Dr. Manuel de Jesús Aguilar Vega

Investigador titular D, Unidad de Materiales, en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). Es Ingeniero Químico, y se especializa en desarrollo de membranas sintéticas e interés en tratamiento de agua y gases contaminantes. **Contacto:** mjav@cicy.mx



Dra. Rita del Rosario Sulub Sulub

Técnico Académico en el Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), adscrita a la unidad de Materiales. Es Químico Industrial con un Doctorado en Materiales poliméricos y se dedica a la síntesis y caracterización de polímeros para aplicaciones en la generación de energía y separación de gases. **Contacto:** rita.sulub@cicy.mx



Dr. Ángel de Jesús Montes Luna

Investigador en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), sus líneas de investigación se enfocan la preparación de sistemas a base de membranas poliméricas y compuestas aplicadas en procesos de separación de gases y eliminación de contaminantes del agua. **Contacto:** angel.montes@cicy.mx



Bonilla-Peregrino R, España-Sánchez BL, Aguilar-Vega MJ, Sulub-Sulub RR, Montes-Luna ÁJ. 2024. MOFs: nanopartículas biocompatibles y antibacterianas para aplicaciones en el área de la salud . Revista Ciencia y Naturaleza (1105)