

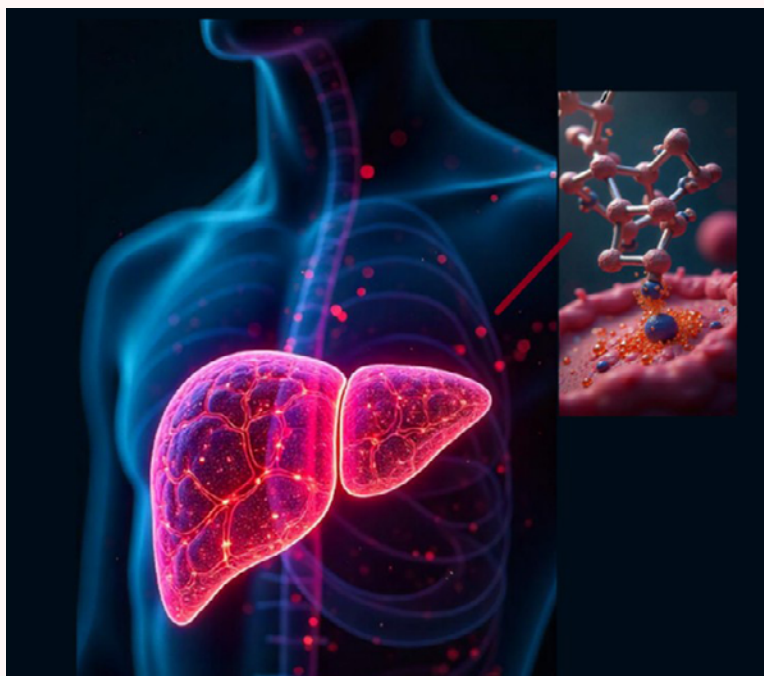
DISEÑAR LA ARQUITECTURA INVISIBLE: MATERIALES HÍBRIDOS COMO ALTERNATIVAS FARMACÉUTICAS

JAVIER AGUILA ROSAS^{1,2}
FRANCISCO J. CANO¹
CARLOS T. QUIRINO BARREDA²
ENRIQUE LIMA¹

Figura. 1. Ejemplo de interacción de estructuras con entornos complejos como el cuerpo humano. Elaboración propia con asistencia de IA Pilxr.

¿Sabías que?

Durante mucho tiempo, la ciencia de materiales se concentró en descubrir nuevas sustancias: compuestos más resistentes, más ligeros o duraderos. Hoy la pregunta ha cambiado. Ya no se trata únicamente de qué material podemos crear, sino cómo podemos diseñarlo para que funcione de manera específica en entornos complejos, como un ser vivo y que interactúe con fluidos, tejidos u órganos (Fig. 1).



La investigación contemporánea en este campo ha transitado hacia el diseño de arquitecturas capaces de dialogar con su entorno. Ya no basta con conocer la composición química, es necesario comprender cómo la estructura, la superficie y la mecánica del material determinan su comportamiento. Bajo esta perspectiva, un conjunto de investigaciones entre la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, y el Instituto de Investigaciones en Materiales, de la Universidad Nacional Autónoma de México, han sido desarrolladas con un mismo objetivo: entender y diseñar materiales cuya función en un entorno biológico surja directamente de su arquitectura. Lo significativo de estas colaboraciones no radica únicamente en

1 Laboratorio de Físicoquímica y Reactividad de Superficies (LaFREs), Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México,

2 Laboratorio de Farmacia Molecular y Liberación Controlada, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco,

la suma de especialidades, sino en que cada investigador aporta una perspectiva distinta que converge en crear una alternativa farmacológica.

Este trabajo estudia materiales especiales llamados estructuras metal-orgánicas (MOF). Estas estructuras pueden funcionar como pequeñas "cajitas" que guardan sustancias y luego las liberan poco a poco (Fig. 2). Gracias a esto, podrían ayudar en la salud, por ejemplo, permitiendo que algunos fármacos o metales como oligoelementos (zinc, cobre, hierro) actúen en el cuerpo de forma controlada. A lo largo de estas líneas de trabajo persiste una continuidad conceptual: la estructura gobierna la función y la interacción biológica.

Pequeñas arquitecturas con grandes posibilidades

Para comprender esta aproximación, conviene imaginar el diseño de materiales como una forma de arquitectura invisible. A escala molecular, cada átomo ocupa una posición precisa, cada enlace determina un ángulo, cada cavidad define un espacio donde algo puede ocurrir.

En este contexto, las MOF están formadas por iones metálicos conectados mediante moléculas que actúan como puentes. El resultado es una red cristalina altamente ordenada y porosa, algo similar a una esponja tridimensional diseñada con precisión. Lo que hace particularmente interesantes a las MOF es su versatilidad estructural. Es posible modificar el tipo de metal, cambiar la longitud, ajustar el tamaño de los poros o dejar espacios capaces de interactuar directamente con otras moléculas. Cada una de estas decisiones es, en realidad, una decisión de diseño.

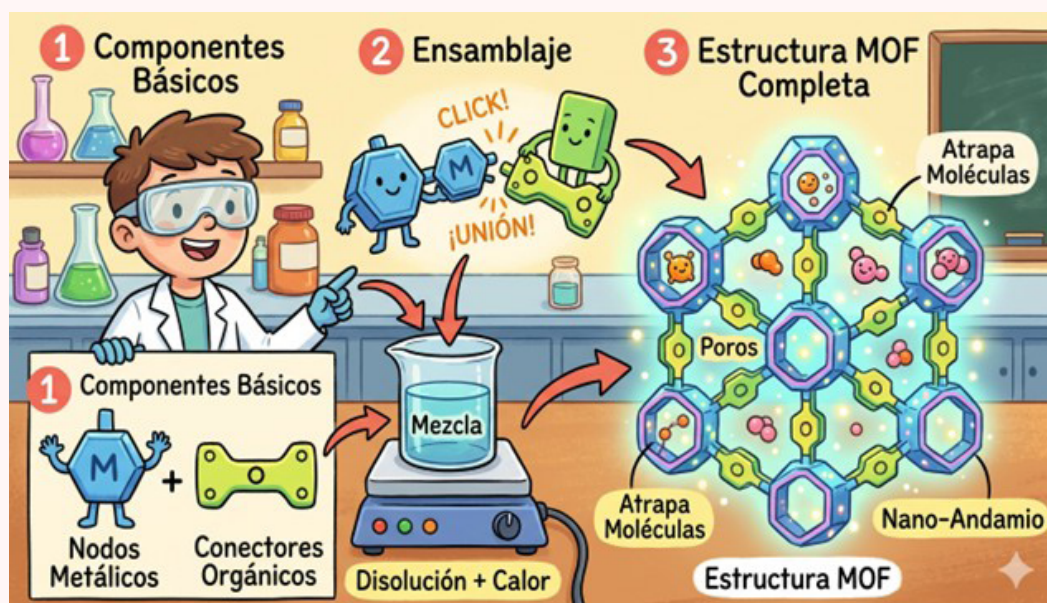


Figura. 2. Ejemplo de la formación de una MOF y espacio para huéspedes. Elaboración propia con asistencia de IA Gemini.

Estructuras nombradas en el mundo científico como MOF-74, ZIF-8 o MIL-53, entre otras, han permitido estudiar cómo la forma, el tamaño y la química superficial influyen en la interacción con moléculas huésped. Estos materiales no son simplemente contenedores, son sistemas activos cuya arquitectura determina cómo capturan y cómo liberan los fármacos que guardan en su interior (Fig. 3).

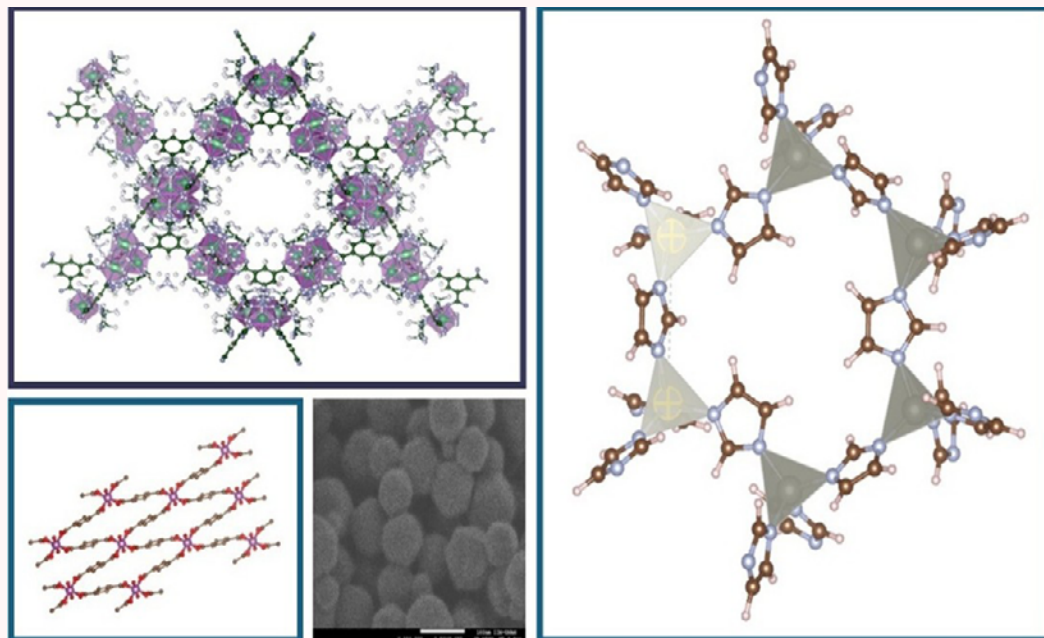


Figura. 3. Ejemplos de la arquitectura real de las MOF visualizadas a través de programas que permiten ver la estructura cristalina y por microscopia que nos permite observar la forma. Elaboración propia.

Cuando el material se convierte en mediador biológico

Uno de los avances más significativos de esta colaboración ha sido trasladar estos principios estructurales a los ámbitos biológico y biomédico. Al introducir fármacos antiinflamatorios, antibióticos o antioxidantes en estas redes, se abre una nueva opción terapéutica con varias ventajas: protección de las moléculas activas, mejor aprovechamiento del fármaco y la posibilidad de dirigir su acción hacia zonas específicas. De esta manera se podrían mejorar los tratamientos, reducir la cantidad de medicamento y disminuir algunos efectos secundarios.

Por ejemplo, si ponemos un fármaco que combate bacterias, como la linezolid, dentro de una MOF, este material funciona como una pequeña "casa" con muchos huecos (Fig. 4). Ahí el fármaco se guarda y sale poco a poco para luchar contra las bacterias. La actividad terapéutica no es resultado exclusivo del fármaco, sino del sistema completo: formado por la MOF-molécula-entorno biológico.

De manera similar, se han creado MOF hechas con cobre, que pueden liberar este metal poco a poco. El cobre es muy importante para que nuestro cuerpo funcione bien, pero demasiado puede ser dañino. Gracias a la interacción con la sangre (fluido acuoso), el cobre se libera justo en la cantidad correcta, a la vez que se destruye la estructura. Así, la MOF actúa como "un guardia" que cuida que el metal ayude al cuerpo sin hacernos daño, al evitar que se acumule en el hígado, órgano que se encarga de desintoxicarnos de ciertos metales.

A través de este cambio de perspectiva, el material deja de ser un soporte pasivo y se convierte en un agente que participa en los procesos biológicos.

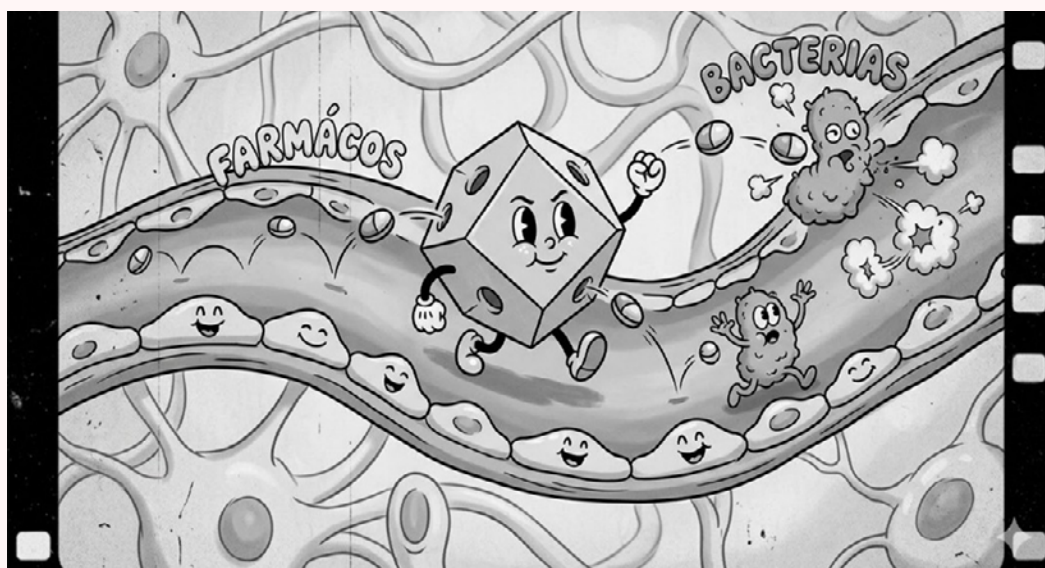


Figura 4. Ejemplo de la interacción y liberación de fármacos transportados por una MOF para eliminar bacterias. Elaboración propia con asistencia de IA Gemini.

Más allá de las MOF: continuidad y expansión

La posibilidad de crear materiales que interactúen de forma controlada con escenarios complejos, como los seres vivos, abren la puerta a terapias más precisas, liberación dirigida de fármacos y nuevas estrategias para cuidar nuestra salud.

Recientemente, la investigación se ha extendido a otros campos como la suplementación nutricional veterinaria y en cultivos vegetales. Al principio puede parecer algo diferente, pero en realidad es la misma idea: se diseñan "cajitas" especiales que contienen los elementos químicos que cada animal o planta necesitan, y los liberan de forma que les ayuden a mantenerse sanos.

Y aunque las MOF han sido el eje central, el trabajo no se ha limitado a éstas, teniendo en cuenta otro tipo de sistemas, como las hidrotalcitas, óxidos metálicos o nanopartículas de oro, como transportadores de fármacos. Por

lo que continúa la exploración de los nanomateriales bajo el mismo principio: combinar componentes para generar propiedades terapéuticas que resuelvan algunos de los problemas de salud presentes en nuestro país.



Figura 5. Alumnos de la UAM sintetizando MOF como transportadores de suplementos nutricionales veterinarios y vegetales. Elaboración propia con asistencia de IA Gemini.