



## PREMIOS NOBEL

# ARQUITECTOS MOLECULARES

GABRIELA PÉREZ

El Premio Nobel de Química 2025 se otorgó a Susumu Kitagawa, Richard Robson y Omar M. Yaghi por sus "estructuras metal orgánicas" que atrapan el dióxido de carbono. Susumu Kitagawa nació en 1951 en Kioto, Japón, y es profesor de la Universidad de Kioto. Richard Robson nació en 1937 en Glusburn, Reino Unido, y es profesor de la Universidad de Melbourne, Australia. Omar M. Yaghi nació en 1965 en Amán, Jordania, y es profesor de la Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos.

Los tres científicos construyeron efectivas prisiones moleculares para gases. A través de su investigación, los tres galardonados de este año han creado estructuras moleculares porosas, compuestas de metales y componentes orgánicos, que permiten el paso de gases y otras sustancias. Estos materiales, llamados marcos o redes metal orgánicas (MOF por sus siglas en inglés, Metal-organic framework), pueden utilizarse para extraer agua del aire del desierto, capturar dióxido de carbono, almacenar gases tóxicos o facilitar reacciones químicas útiles para otros fines.

Los MOF son materiales extremadamente porosos, tanto que pueden considerarse esponjas moleculares capaces de capturar, separar o almacenar sustancias a nivel microscópico. Sus cavidades ofrecen una enorme superficie molecular, lo que los hace ideales para almacenar o filtrar sustancias. Por ejemplo, pueden atrapar grandes cantidades de gas en sus poros o utilizarse para capturar selectivamente un gas mezclado con otros, como se hace en las plantas para separar el dióxido de carbono del resto del aire. Y todo empezó con unas bolas de madera.

A principios de la década de 1980, Robson probó una idea que se le había ocurrido mientras trabajaba con modelos para construir moléculas, los que se utilizaban para enseñar su estructura y que generalmente estaban hechos de bolas de madera que representaban átomos, en las que se insertaban clavijas que representaban enlaces químicos (múltiples átomos combinados forman una molécula). Los agujeros en las bolas debían colocarse de forma diferente según el tipo de átomo, y de ahí Robson extrajo la idea de probar las propiedades de los propios átomos para conectar diferentes tipos de moléculas entre sí, en lugar de átomos individuales.

En química, existen dos formas principales de construir materiales sólidos: uniendo átomos con átomos o moléculas con moléculas. Robson quería probar algo diferente: usar las reglas de enlace atómico para unir moléculas enteras de forma sólida y ordenada.

Robson realizó su primer intento, inspirado en los diamantes, compuestos de un material altamente compacto, donde cada átomo de carbono está unido a otros cuatro átomos de carbono en una estructura piramidal. La idea era usar otros bloques de construcción en lugar del carbono y lograr que se enlazaran de forma similar.

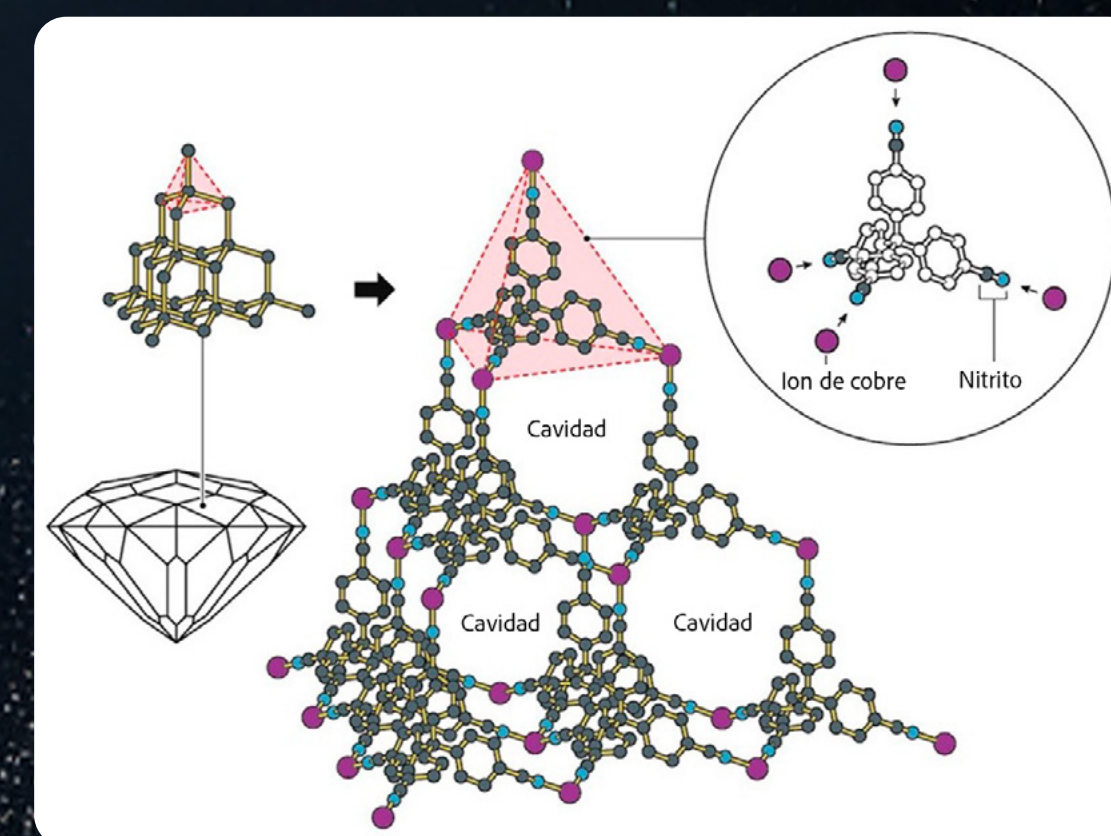
Robson se dio cuenta de que podía usar iones metálicos —que en química forman enlaces direccionales, llamados enlaces de coordinación— para unir moléculas orgánicas rígidas. Estas moléculas orgánicas actúan

como conectores o tirantes, obligando a toda la estructura a crecer de forma ordenada y dejando enormes espacios vacíos. Utilizó iones de cobre, átomos con carga positiva que forman cuatro enlaces, al igual que el carbono en el diamante, y una molécula orgánica con cuatro extremos. Hasta entonces, se pensaba que la combinación de estos dos componentes daría lugar a una maraña de moléculas e iones, pero este investigador demostró que la afinidad en los enlaces era tal que los diversos componentes se ensamblaban en una estructura ordenada.

La creación de Robson fue el primer MOF de la historia, y a finales de la década de 1980 describió sus características en un estudio que abriría importantes oportunidades de investigación en la ciencia de los materiales. Al explotar los espacios vacíos, se podían diseñar nuevos con diversas funciones.

Richard Robson se propuso crear nuevas estructuras moleculares con espacios vacíos, que pudieran llenarse con diversas sustancias, para comprender qué hacer con ellos. En un experimento, llenó una estructura con un tipo de ion específico y luego la sumergió en un líquido que contenía otro tipo de ion. Observó que los iones intercambiaban posiciones, encontrando evidencia adicional de que las sustancias podían entrar y salir libremente de las nuevas estructuras que había diseñado.

El siguiente paso fue diseñar cristales con cavidades adecuadas para albergar sustancias químicas específicas, pero los primeros intentos fueron decepcionantes. Las estructuras eran más frágiles de lo esperado y tendían a colapsar, hasta el punto de que su invento parecía condenado al fracaso. Sin embargo, entre los químicos no solo hubo críticos: Susumu Kitagawa y Omar Yaghi, intrigados por las oportunidades que ofrecían los MOF, a principios de la década de 1990 realizaron una serie de descubrimientos muy importantes que sentarían las bases para el futuro de estos materiales.



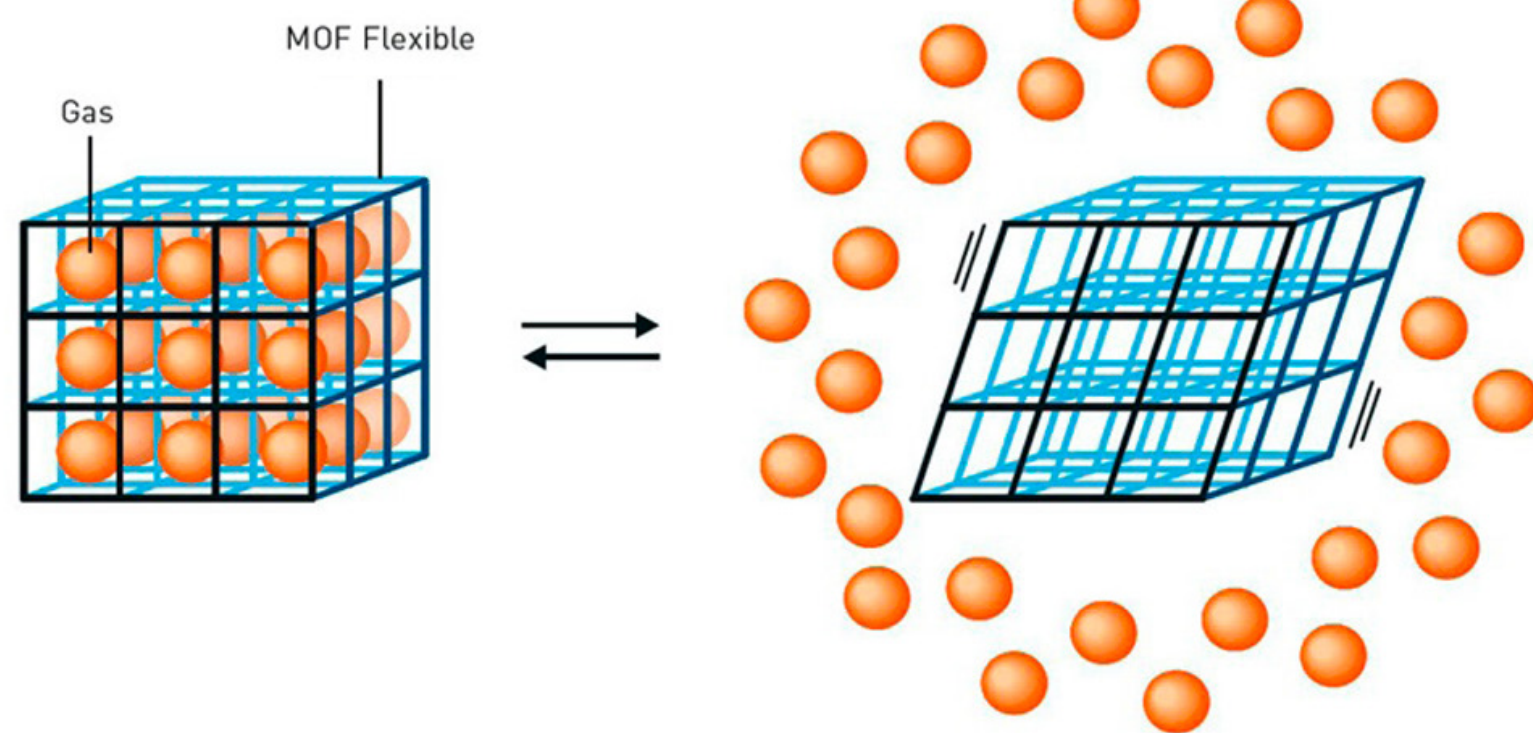
Richard Robson se inspiró en la estructura del diamante (cada átomo de carbono se une a otros cuatro, formando una pirámide). Utilizó iones de cobre y una molécula de cuatro brazos, combinándolos, y obtuvo un cristal ordenado y muy espacioso.

Tras algunos intentos poco prometedores, en 1997 Kitagawa utilizó iones de cobalto, níquel y zinc junto con una molécula específica, logrando crear redes metal orgánicas tridimensionales lo suficientemente estables como para llenar los espacios vacíos con gases como metano, nitrógeno y oxígeno. La estructura permaneció inalterada, lo que sugiere que podría utilizarse como material poroso en lugar de otros materiales ya conocidos basados en un principio químico diferente.

Kitagawa tardó un tiempo en demostrar la utilidad de los MOF que había creado, demostrando que podían construirse con diversos tipos de moléculas y que podían hacerse flexibles gracias a ciertos componentes moleculares elásticos. Fue precisamente esta última

propiedad la que interesó a otros investigadores, lo que condujo al desarrollo de los MOF flexibles.

Casi al mismo tiempo, Yaghi también había logrado avances significativos con los MOF (él acuñó el término: Metal-organic framework), desarrollando estructuras estables capaces de soportar altas temperaturas sin colapsar. En 1999, Yaghi anunció la producción de MOF-5, un material estable con amplios espacios internos que puede utilizarse para absorber grandes cantidades de gas. Posteriormente colaboró con Kitagawa, uniéndose a su investigación sobre MOF flexibles, que pueden cambiar de forma al llenarse con un fluido y luego volver a su forma original, de forma similar a la funda de una gaita.



En 1998, Kitagawa planteó la hipótesis de que las estructuras metal orgánicas (MOF) podrían ser flexibles. Hoy en día, existen numerosas MOF flexibles que pueden cambiar de forma, por ejemplo, al llenarse o vaciarse de diversas sustancias.

Hasta ahora, los MOF se han utilizado a pequeña escala, pero se están explorando soluciones para producirlos y comercializarlos, aprovechando su versatilidad. Los expertos creen que tienen un gran potencial, y sus primeras aplicaciones prácticas lo demuestran.

En la industria electrónica, los MOF se utilizan para retener los gases tóxicos necesarios para la producción de semiconductores, aunque existen versiones que pueden degradar gases nocivos. Otra área importante de desarrollo es la posibilidad de utilizar MOF en sistemas que eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera, lo que contribuye a reducir la circulación de gases de efecto invernadero y, en consecuencia, el calentamiento global.

Los optimistas creen que los MOF podrían convertirse en el mayor descubrimiento en la ciencia de los materiales del siglo XXI, dado su enorme potencial.



GABRIELA PÉREZ AGUIRRE

Estudió ingeniería química en la Facultad de Química de la UNAM. Es autora de libros de texto de física y química a nivel secundaria y de química a nivel bachillerato. Colaboró en la concepción, desarrollo y edición de libros de texto, interactivos y guiones para la red EDUSAT, del Instituto Latinoamericano para la Comunicación Educativa (ILCE). Formó parte del equipo editorial de la Revista Ciencias, de la Facultad de Ciencias de la UNAM