

El gran hermano molecular: observando la sociedad de las moléculas

Millones de años de evolución han enseñado a la materia viva a organizar su propia estructura molecular, de manera óptima, para llevar a cabo funciones como la conversión y almacenamiento de energía solar, la replicación y almacenamiento de información, la reparación molecular, etc. Todas estas funcionalidades son realizadas por diminutas piezas de maquinaria llamadas nanoestructuras moleculares: pequeños grupos de moléculas con una estructura tridimensional dada. La manera precisa en la que las moléculas se disponen en la sociedad molecular determina la funcionalidad de la nanoestructura.

Con el fin de mejorar nuestra capacidad para diseñar nanoestructuras moleculares funcionales hemos de entender cuantitativamente la manera en la que las entidades biológicas construyen sus dispositivos moleculares. El método de fabricación favorito de la materia viva es muy sutil, misterioso e interesante: el autoensamblaje. Cuando un conjunto de moléculas, que incluso pueden tener diferente naturaleza química, se reúnen en una región del espacio en un cierto rango de temperaturas, entonces las moléculas pueden interactuar entre sí de alguna manera específica, dando lugar a la formación de nanoestructuras moleculares de formas y tamaños definidos. Por ejemplo, si se descompone la cápside de un virus en sus proteínas constituyentes, posteriormente se coloca a estas proteínas en las condiciones adecuadas (temperatura, concentración, pH) y se espera pacientemente un corto periodo de tiempo, la cápside del virus se formará de nuevo, indistinguible de aquella con la que se comenzó.

En palabras de Jean-Marie Lehn, premio Nobel en Química en 1987 y uno de los padres de la Química Supramolecular, el estudio de los procesos de autoensamblaje es algo parecido a estudiar la sociología de las moléculas. Las moléculas, como las personas, tienen sus propios gustos y preferencias, y su propia manera de interactuar con otras. La mejor manera, por tanto, de entender cómo las diferentes interacciones determinan la estructura de la sociedad molecular resultante es, por tanto,

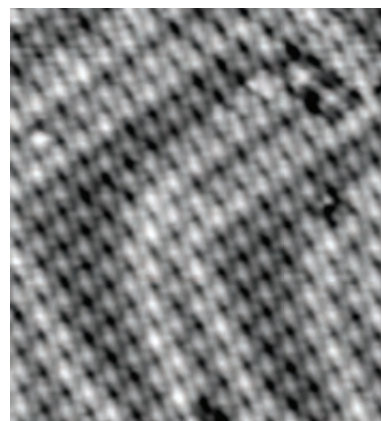
poner unas cuantas de ellas en una región dada del espacio, elegir el rango correcto de temperaturas y finalmente observar cómo las moléculas van y vienen, hacen amigos y se organizan en sociedades cada vez más complejas: es decir, debemos organizar algo así como un Gran Hermano molecular teniendo como protagonistas moléculas individuales.

Para realizar nuestros experimentos de Gran Hermano molecular necesitamos ser capaces de seguir su movimiento y ensamblaje a diferentes temperaturas. Para ello contamos con un Microscopio Túnel de Barrido Rápido, operativo en un amplio rango de temperaturas entre los 100 y los 400 K, y funcionando en condiciones de Ultra-Alto Vacío ($\leq 10^{-10}$ mbar), indispensables a fin de asegurarnos las condiciones de limpieza extrema necesarias para estudiar la posición y el movimiento de moléculas individuales. Este tipo de microscopio nos permite obtener de manera rutinaria imágenes con resolución atómica de superficies sólidas cristalinas y conductoras. Dichas superficies se acondicionan para recibir a las moléculas mediante ciclos de bombardeo y calentamiento, y posteriormente las moléculas son depositadas sobre la superficie mediante técnicas de epitaxia de haces moleculares orgánicos.

Los resultados obtenidos con este tipo de experimentos permiten el diseño, a voluntad, de nanoestructuras moleculares soportadas en sustratos sólidos. Así, en el laboratorio de Superficies de la Uni-

versidad Autónoma de Madrid (LASUAM) e IMDEA-Nano estamos intentando contribuir al diseño y fabricación de nanoestructuras moleculares funcionales. En particular, hemos llevado a cabo varios trabajos que nos han permitido nanoestructurar mezclas de aceptores y donores orgánicos en tamaños nanométricos, algo con gran importancia potencial en el desarrollo de células solares orgánicas.

Según nuestro conocimiento de las interacciones entre moléculas individuales vaya siendo más preciso, nos acercaremos al sueño de Feynman de colocar objetos donde queramos con precisión atómica. El método de autoensamblaje, además, presenta la gran ventaja de ser paralelo, es decir, no requiere que las nanoestructuras sean manufacturadas de una en una. El límite para la fabricación de nanoestructuras moleculares mediante técnicas de autoensamblaje está sólo en nuestra imaginación.



→ Imagen de STM ($17,5 \times 17,5 \text{ nm}^2$) de ftalocianinas de hierro autoensamblada sobre una superficie de Au (111)