

La Química: una de las bases de la nanotecnología

P. A. Serena

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
e-mail: pedro.serena@icmm.csic.es

La nanociencia y la nanotecnología son disciplinas que se han consolidado en los últimos treinta años, aunque ya en el año 1959 el Premio Nobel de física Richard Feynman, en su famosa y profética conferencia "En el fondo hay mucho sitio" anticipó muchos de los conceptos e instrumentos que se manejan actualmente en dichas disciplinas. La primera se puede definir como el conjunto de conocimientos y técnicas que permiten observar, caracterizar, entender y predecir las propiedades de objetos y estructuras de tamaño nanométrico. Por cierto, un nanómetro (1 nm) es la mil millonésima parte de un metro, una longitud realmente muy pequeña en la que tan solo podríamos alinear un pocos átomos.

La nanotecnología va un poco más allá de la nanociencia y se afana por buscar aplicación a los sorprendentes fenómenos que tienen lugar en la nanoescala. Habitualmente denominamos nanoescala o nanomundo al intervalo de longitudes comprendido aproximadamente entre 1 y 100 nm. Por cierto, los objetos y estructuras propios de la nanoescala se denominan nanoobjetos y nanoestructuras, respectivamente.

Los fenómenos que ocurren en la nanoescala tienen su origen, por un lado, en el importante papel que juegan las superficies en los nanoobjetos. Es fácil entender que cuanto más pequeña es una estructura la fracción de átomos ubicados en sus superficies exteriores es mucho mayor.

Además, hay que tener en cuenta otros fenómenos que sólo la intrigante Mecánica Cuántica puede explicar. Un ejemplo de estos sorprendentes efectos lo encontramos en el oro: de todos es sabido que este noble metal presenta habitualmente una coloración amarilla, pero cuando se presenta con formato nanométrico puede mostrar diferentes tonalidades en función del tamaño y la forma de la nanopartícula, como ocurre con el oro disperso en algunas vidrieras medievales o en las disoluciones

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

coloidales. Mediante el control de la geometría y el tamaño de los nanoobjetos también se pueden modificar propiedades como la conductividad eléctrica, la reactividad química, la elasticidad, la magnetización, la coloración, etc. Por eso se dice, con toda razón que "lo pequeño, lo 'nano', es diferente".

Además de diferente, el nanomundo es bello. Hemos podido acceder a esta belleza gracias a herramientas como el microscopio de efecto túnel (STM) y el microscopio de fuerzas atómicas (AFM). Por el desarrollo del microscopio STM Heinrich Rohrer y Gerd Binnig recibieron el Premio Nobel de Física en 1986. Las imágenes que acompañan este texto han sido obtenidas mediante técnicas STM y AFM y son finalistas en algunas de las dos ediciones del concurso internacional SPMAGE, organizado por el CSIC y la Universidad Autónoma de Madrid. Estas herramientas permiten la observación y manipulación tanto de átomos y moléculas como de estructuras y materiales biológicos.

¿Quiénes son los científicos que trabajan en nanotecnología? ¿Quiénes ejercen de nanotecnólogos? Lo cierto es que la nanotecnología evoluciona mediante la convergencia de las ideas y propuestas de biólogos, químicos, físicos, ingenieros y médicos. Estamos ante una disciplina realmente multidisciplinar donde confluyen estrategias y métodos que nos van a permitir diseñar, sintetizar y fabricar nanomateriales, nanoobjetos y nanodispositivos con propiedades mejoradas o completamente nuevas.

Además, debido al carácter multidisciplinar de la nanotecnología, las aplicaciones de ésta se van a encontrar en todos y cada uno de los sectores productivos: materiales, electrónica, informática y comunicaciones, energía y medioambiente, transporte, construcción, biotecnología, salud, alimentación, etc.

Las diferentes metodologías de fabricación de nanoobjetos y nanoestructuras se agrupan en dos grandes familias. Por un lado nos encontramos con procesos en los que se parte de lo pequeño (átomos) para generar estructuras más complejas. Estos procesos son de tipo ascendente (en inglés "*bottom-up*"). Los procesos ascendentes son comunes en biología, donde estructuras complejas se forman a partir de entidades nanométricas. En realidad la vida es pura nanotecnología, donde infinidad de nanoestructuras y nanomáquinas trabajan sincronizadas en nuestras células. La vida nos facilita además nuevas estrategias de fabricación que intentamos imitar en nuestros laboratorios. Por otro lado se definen los procesos descendentes (en inglés "*top-down*") como aquellos en los que se parte de estructuras grandes para obtener otras de menor tamaño gracias a técnicas de desgaste, molienda, ataque químico, etc.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

Con todas estas estrategias ya estamos en condiciones de fabricar una amplísima variedad de nanoobjetos con multitud de aplicaciones: pequeñas moléculas capaces de convertirse en interruptores de corriente y memorias donde almacenar información, nanotubos de carbono con formidables prestaciones mecánicas, láminas de grafeno de inigualables propiedades eléctricas, nanopartículas de diversas sustancias que se incorporarán en otros materiales como refuerzo o con fines bactericidas, nanohilos metálicos que se usarán como sensores, "puntos cuánticos" que servirán de marcadores biológicos o aumentarán el rendimiento de las células solares, liposomas y dendritas capaces de liberar fármacos o nutrientes de manera controlada y en los lugares adecuados, sistemas nanoporosos de utilidad en el filtrado de aguas o almacenamiento de hidrógeno, etc.

Hasta ahora hemos hablado mucho de nanociencia y nanotecnología y poco de química, pero por lo ya mencionado parece evidente que la química constituye uno de los pilares de la nanotecnología. No olvidemos que la química es la ciencia que conecta la relativa sencillez de átomos y moléculas con la complejidad y funcionalidad de la materia macroscópica y la propia vida. De hecho, los químicos son los científicos que en sus laboratorios idean y ponen a punto protocolos para producir nuevas formas de materia. Y lo hacen tanto a nivel molecular como a nivel de millones de toneladas cuando es preciso trabajar a escala industrial. Es evidente que la química va a ser decisiva para poder obtener nanoobjetos y nanomateriales de manera eficaz y sostenible: a gran escala, con el menor de los costes, y con un bajo impacto ambiental.

La química nos ha proporcionado nanoobjetos como los fullerenos (cuyo descubrimiento supuso el Premio Nobel de Química a R.E. Smalley, H. Kroto y R.F. Curl en 1996). En la actualidad diversas moléculas electroactivas se proponen como alternativa a la tecnología electrónica basada en el silicio. También la química está siendo clave en la síntesis de nanoestructuras como los "puntos cuánticos" o nanohilos semiconductores de uso en tecnologías fotónicas y en energía fotovoltaica, entre otras aplicaciones. Mediante técnicas químicas se crean nanomateriales híbridos y compuestos, muchos de ellos con una componente polimérica, de uso en aplicaciones estructurales, filtrado, electrónica, fotónica, etc. Quizás una de las estrategias "bottom-up" más esperanzadora se basa en la capacidad que tienen algunas moléculas y nanopartículas para, bajo ciertas condiciones, reconocerse y ordenarse espontáneamente. Este proceso se denomina autoensamblado molecular. Finalmente es preciso recordar que las técnicas químicas también logran la funcionalización de nanoobjetos, es decir, dotar a un nanoobjeto de nuevas funcionalidades gracias a la incorporación de otras moléculas a su superficie. Esta funcionalización es la base de

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

muchas aplicaciones en nanomedicina: liberación controlada de fármacos, nuevos biosensores, destrucción localizada de tumores.

A fecha de hoy ya hay miles de productos que incorporan desarrollos nanotecnológicos pero queda mucho tramo por recorrer. La posible llegada de tantas y tan novedosas aplicaciones ha servido de caldo de cultivo para disparar nuestra imaginación haciendo llamativas propuestas que en algunos casos están muy cercanas a la ciencia-ficción. En unos casos la nanotecnología muestra una cara peligrosa mientras que en los otros aparece como una verdadera panacea. Diversos organismos están poniendo en marcha normativas y protocolos para que la incorporación de las nanotecnologías a todas las fases de invención, desarrollo, producción y distribución de nanoproductos se haga de forma segura. Tengamos paciencia para asistir a la llegada de esta avalancha de "nanoproductos", pero la "nano-revolución" es imparable.

Para aquellos que quieran adentrarse aún más en este pequeño pero fascinante territorio se recomiendan las siguientes lecturas y páginas web:

- "¿Qué sabemos de la Nanotecnología?" (P.A. Serena, Editorial La Catarata – CSIC, 2010).
- "Unidad Didáctica de Nanociencia y Nanotecnología" (J.A. Martín-Gago, E. Casero, C. Briones y P.A. Serena, FECYT, 2008). Disponible en versión digital en la página web <http://www.fecyt.es>
- "Una revolución en miniatura. Nanotecnología y disciplinas convergentes." (Amador Menéndez, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valencia, 2010).
- "Nanoscience, Nanotechnology, and Chemistry", G. M. Whitesides, Small 1, 172-179 (2005).
- Concurso internacional de imágenes del nanomundo SMPAGE: <http://www.icmm.csic.es/spmage>
- Link al documento que presenta el Eje Temático de Nanotecnología del CSIC: <http://www2.csic.es/documentos/ejesTematicos/EjeNano.pdf>
- Link a la oferta tecnológica del CSIC en el ámbito de la nanotecnología: <http://www.csic.es/web/guest/nanotecnologia>

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

Año Internacional de la
QUÍMICA
2011

"Química: nuestra vida, nuestro futuro."

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

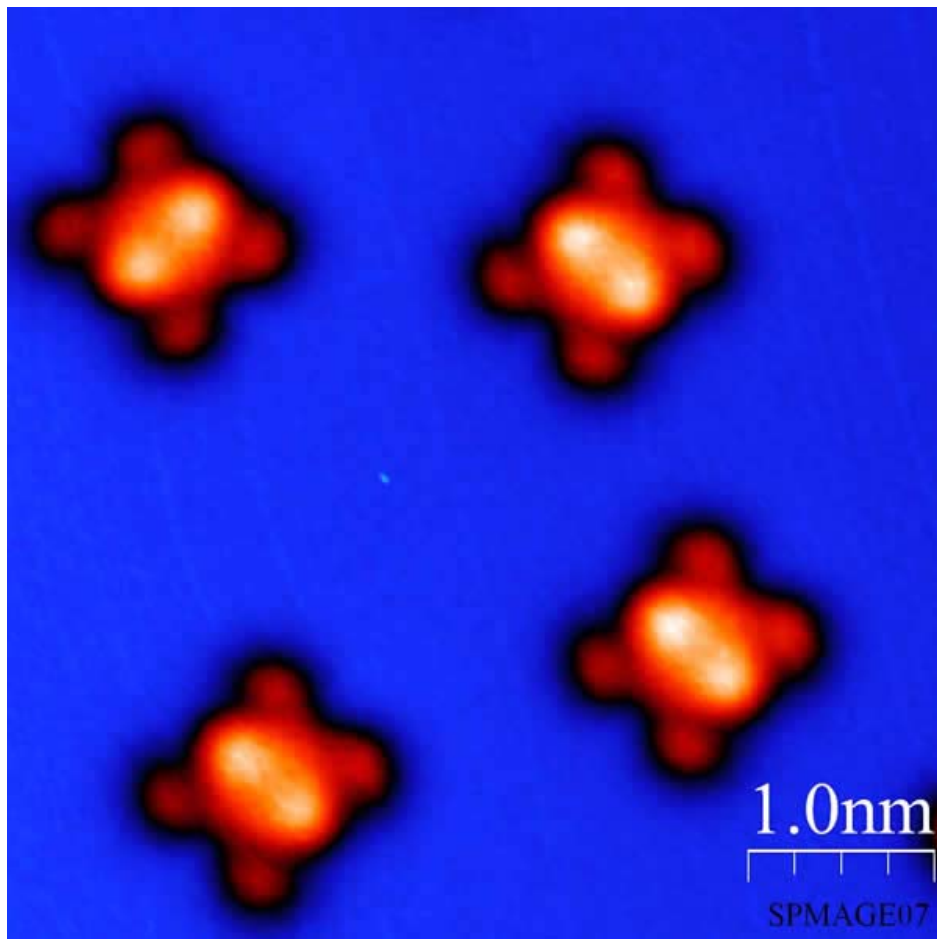
Q_s
F.O.R.O.
QUÍMICA y SOCIEDAD
www.quimicaysociedad.org

Q
Año Internacional de la
QUÍMICA
2011

SELECCIÓN DE IMÁGENES DE AFM/STM RELACIONADAS CON LA QUÍMICA Y PROVENIENTES DE LAS DOS EDICIONES DEL CONCURSO SPMAGE07 Y SPMAGE09 (<http://www.icmm.csic.es/spmage>)

NOTA: Me ha parecido que lo más correcto es elegir cinco imágenes del Concurso SPMAGE07-09 para ilustrar el anterior texto. Mientras se citen adecuadamente se pueden utilizar. En cada caso te adjunto la imagen y su pie de figura. En cada caso aparece el autor, el título, el centro, el país, y una breve explicación de no más de tres-cuatro líneas. En cada caso se añade el link al concurso.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



Título: "Visualizando orbitales moleculares con un STM"

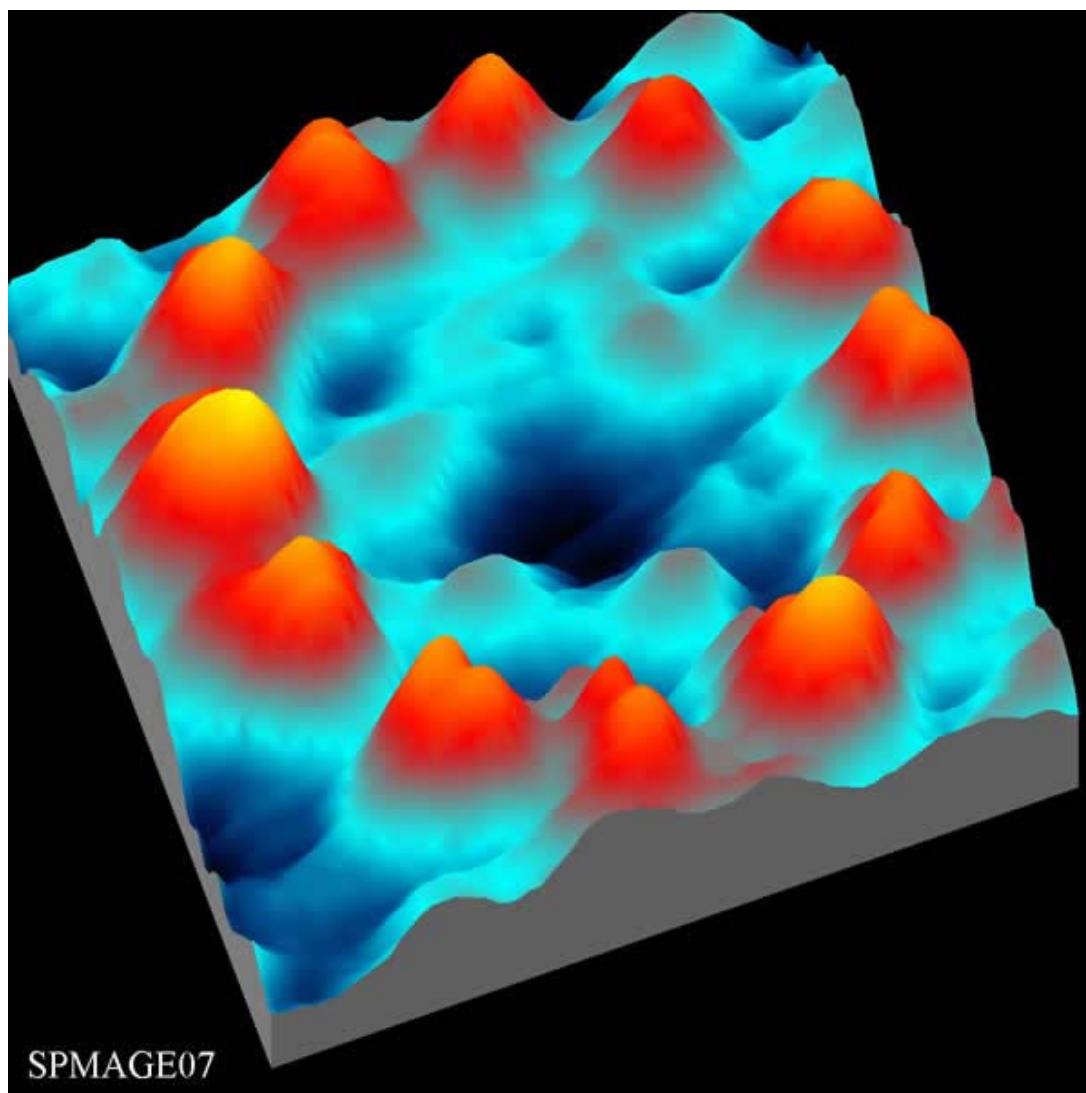
Autor: Dr Daniel Wegner. Universidad de California en Berkeley (EE.UU.)

<http://www.icmm.csic.es/spmage>

Esta imagen muestra la estructura del orbital molecular ocupado con energía más elevada (HOMO) de varias moléculas de tetra-ciano-etileno depositadas sobre una superficie de plata (Ag(100)) a una temperatura de 7 K. Las dos orientaciones de la molécula reflejan la orientación del sustrato.

The molecules can have two different orientations, which reflects the square-lattice symmetry of the silver substrate. Nodes are observed at the carbon-carbon double-bond sites (center) and the carbon-nitrogen triple-bond sites and reflect an anti-bonding character of the orbital. In fact, density-functional calculations show that this shape is expected for the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO). Consequently, TCNE is negatively charged on Ag(100), i.e., the LUMO becomes occupied and is observed as a peak in tunneling spectroscopy at -0.6 V below the Fermi energy. These detailed molecular features are invisible in STM images, where only a dark ring around an oval protrusion is observed. Feedback parameters: $U = -0.6$ V, $I = 30$ pA. Image size: 5 nm x 5 nm.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



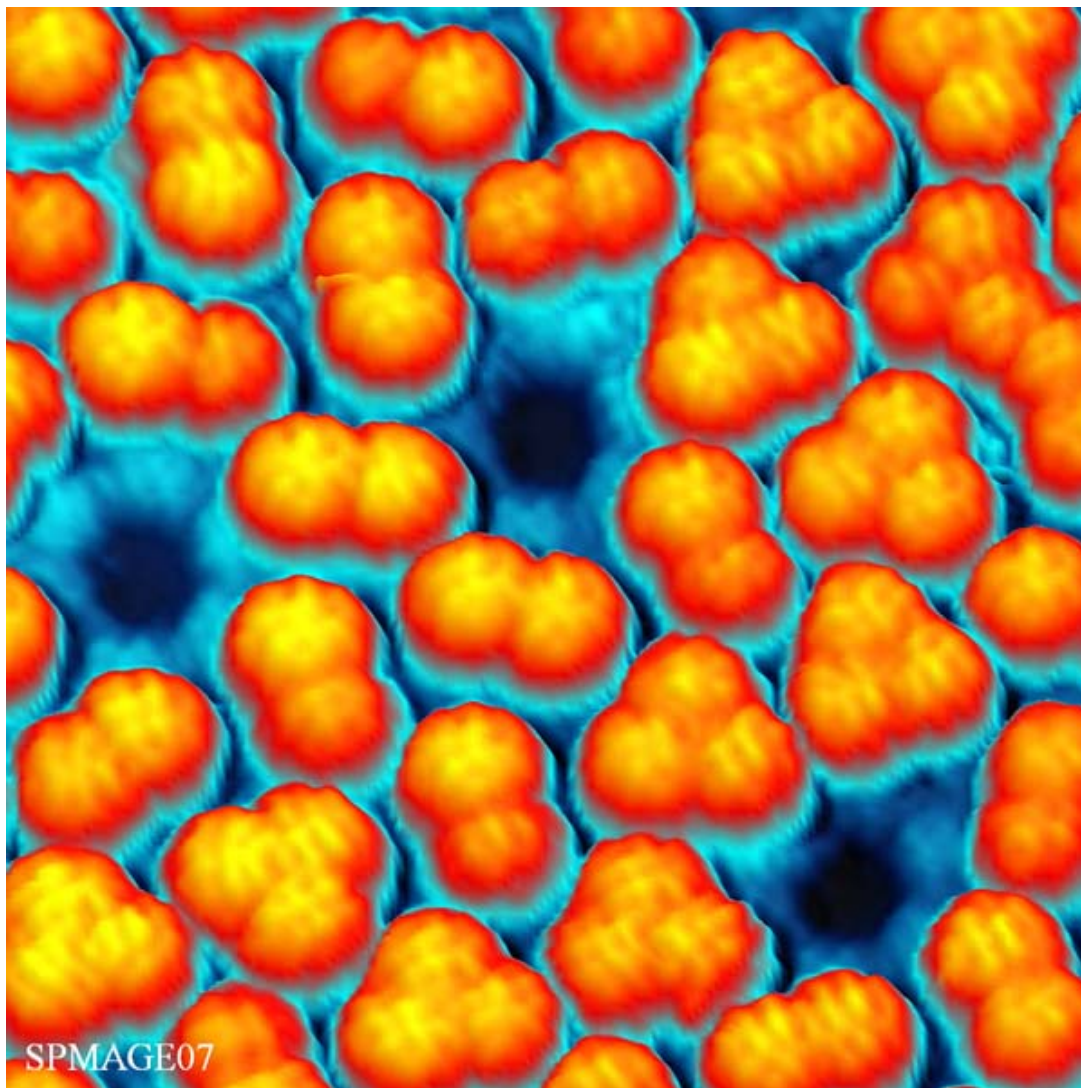
Título: "Círculo de átomos de bromo sobre una superficie de Si(111)-(7x7)"

Autor: Dr. Seung Yun Yang, Universidad de Toronto (Canadá)

<http://www.icmm.csic.es/spmage>

Esta imagen STM muestra doce átomos de bromo que han sido "impresos" en forma de círculo sobre la superficie Si(111)-(7x7). Para obtener esta estructura se parte de doce moléculas de bromuro de metilo que se manipulan y se colocan en forma circular. Mediante un pulso de láser UV las moléculas se disocian y los átomos de bromo quedan ligados a la superficie. La superficie barrida es de 5 nm x 5 nm.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



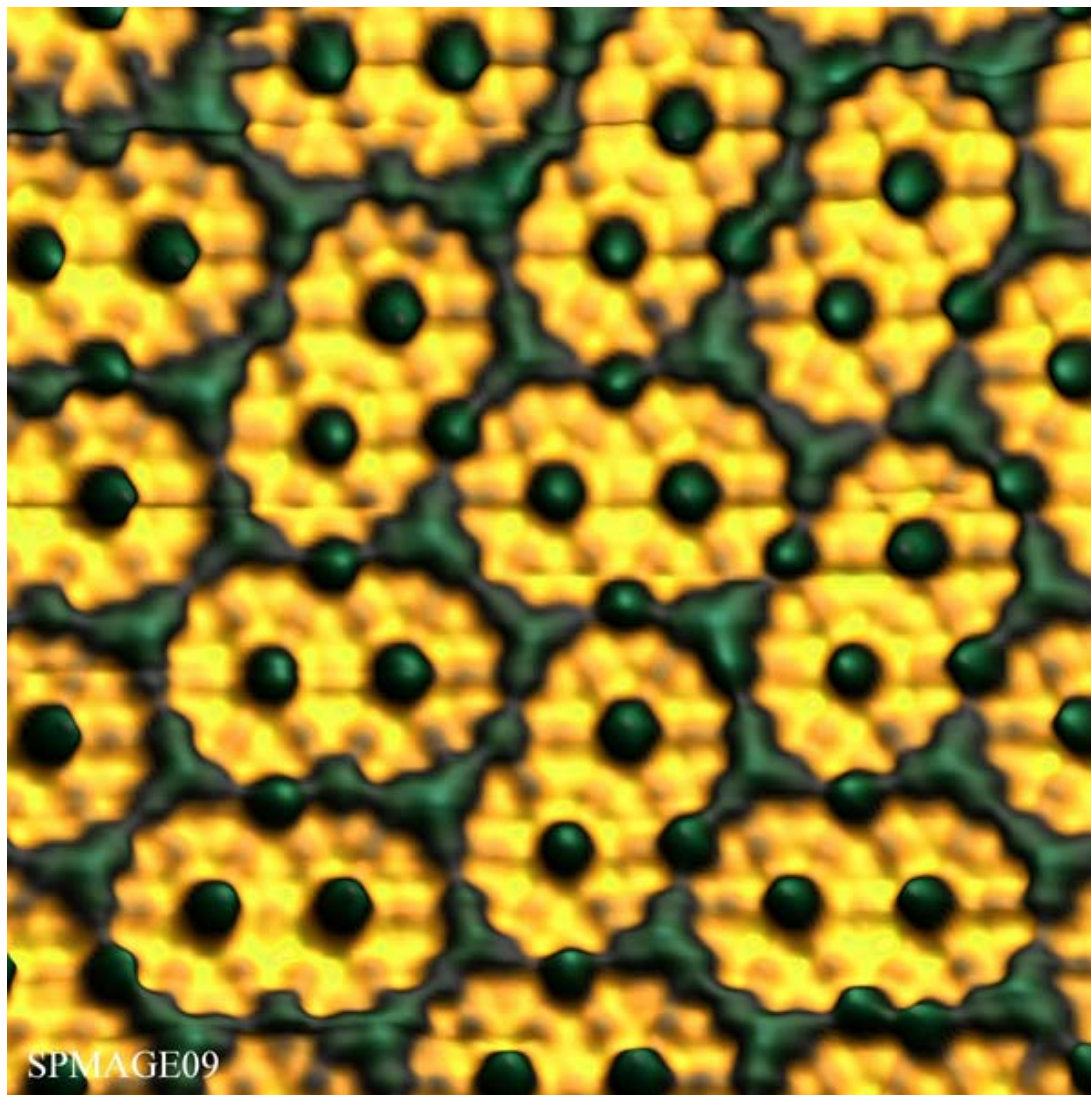
Título: "Moléculas de C60 atrapadas en una red nanoporosa"

Autor: Dr Meike Stöhr. Universidad de Basilea (Suiza)

<http://www.icmm.csic.es/spmage>

Esta imagen STM muestra pares y tripletes de moléculas de C60 atrapadas en los poros de una red nanoporosa. Esta red se forma a partir de la deshidrogenación térmica de un derivado de perileno sobre una superficie de cobre. Este tipo de redes permiten controlar la posición de moléculas sobre una superficie.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



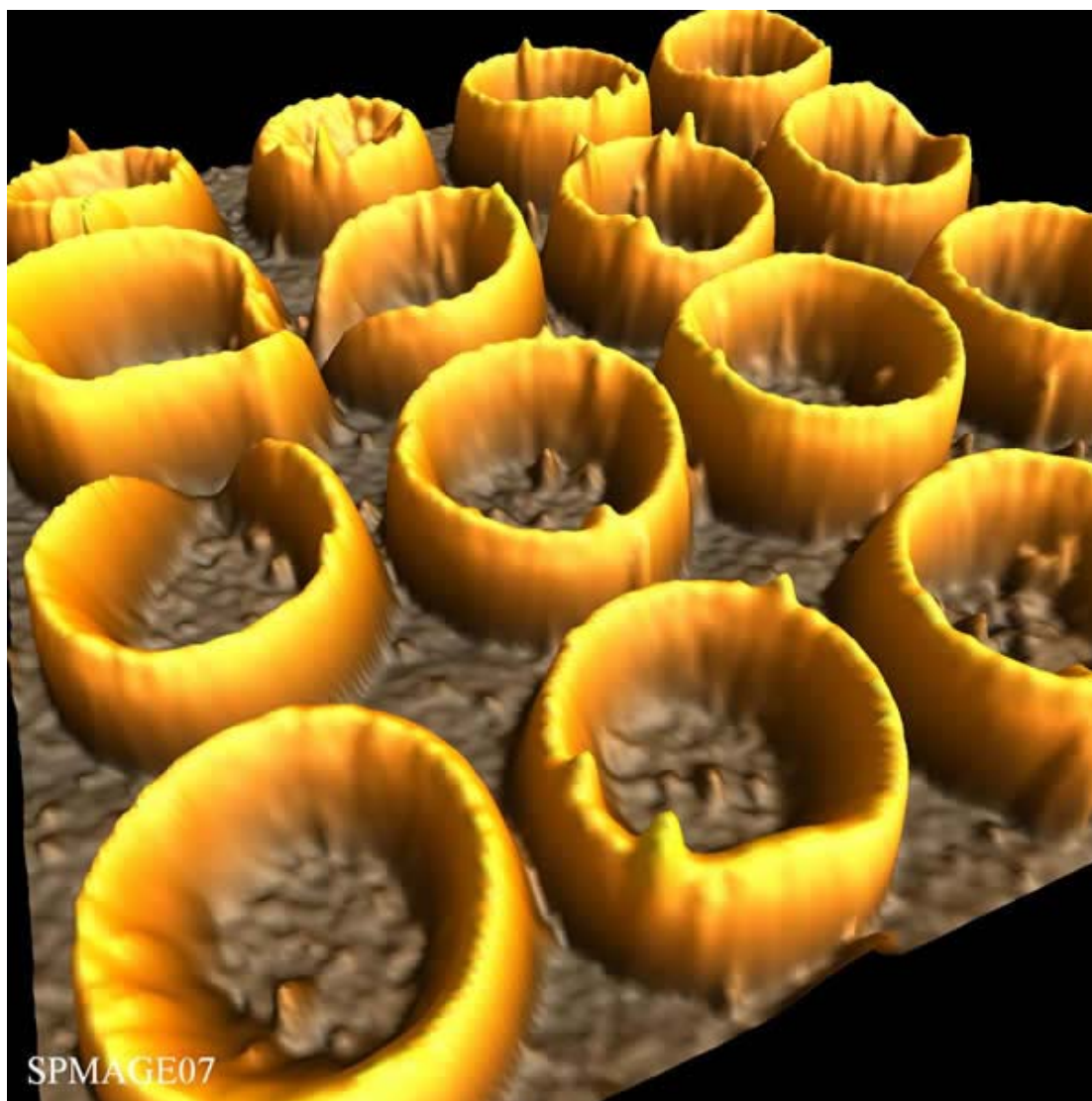
Título: "Nanoflores de sulfuro de cobalto"

Autor: Dr. Jakob Kibsgaard. Universidad de Aarhus (Dinamarca)

<http://www.icmm.csic.es/spmage>

Esta imagen STM de 9 nm x 9 nm muestra intrigantes estructuras de sulfuro de cobalto con forma de flor crecidas mediante deposición de cobalto sobre una superficie de oro en una atmósfera de H_2S .

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



Título: "Patrón de anillos de polipirrol"

Autor: David Caballero. Laboratori de NanoBioEnginyeria (IBEC)-CIBER, Universidad de Barcelona (España)

<http://www.icmm.csic.es/spmage>

Esta imagen AFM muestra anillos de polipirrol, un polímero conductor, que han sido estampados mediante la técnicas de impresión mediante microcontacto en inmersión sobre una superficie funcionalizada de oro. Estas técnicas son la antesala de la fabricación de estructuras más complejas como memorias o transistores de interés en nanoelectrónica.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es