

ENTREVISTA

Eugenio Coronado Miralles

Químico experto en magnetismo y electrónica molecular



“EL SISTEMA FUNCIONARIAL DESPERDICIA GRAN PARTE DE LA CAPACIDAD INVESTIGADORA EN ESPAÑA”

Durante la entrevista, la puerta del despacho del director del Instituto de Ciencia Molecular de la Universidad de Valencia permanece abierta, y por ella no dejan de asomar las cabezas de jóvenes investigadores en busca de algún consejo o una indicación. Apenas llegan a despegar los labios para hablar. La pasión con la que Eugenio Coronado Miralles (Valencia, 1959) se entrega a responder las preguntas del periodista bloquea cualquier posibilidad de interrupción. Uno a uno regresan al laboratorio para continuar la exploración de la frontera del nanomundo que Coronado ha ayudado a expandir con su estudio del magnetismo molecular y el desarrollo de los materiales moleculares multifuncionales. A pesar de encuadrar su discurso en el contexto de una realidad nanométrica, Eugenio Coronado habla de “construir edificios” a partir de moléculas. Sin duda, debe de ser cierto que hay mucho sitio al fondo, como ya aventuró el físico Richard Feynman, padre de la nanociencia.

Texto: Hugo Cerdà. Fotos: Santi Burgos

Su grupo de investigación se ha caracterizado por emplear una aproximación molecular para el estudio de las propiedades magnéticas de ciertos materiales. ¿El objetivo es crear nanoimanes que permitan memorias más pequeñas?

Sí, este es uno de los posibles objetivos. Lo que se busca aquí es diseñar moléculas imán que presenten efecto memoria (histéresis magnética) a temperaturas cada vez más altas. Las temperaturas a las cuales esos fenómenos ocurren son siempre muy bajas, del orden de los cuatro kelvin, cerca del cero absoluto. Por encima de cuatro kelvin esas moléculas pierden memoria. Pero, además de esta característica, la razón de estudiar estos nanoobjetos es que pueden presentar fenómenos cuánticos debido a su pequeño tamaño. Estos nuevos fenómenos cuánticos hacen, por ejemplo, que estos nanoimanes, a diferencia de los clásicos, inviertan su polaridad a muy bajas temperaturas a través del efecto túnel.

Siendo así, las moléculas imán no tendrán aplicación práctica. Si conseguimos que estos nanoimanes mantengan su efecto memoria cuando se depositan sobre una superficie, cosa que todavía está por ver, sí que podrían tener aplicaciones en la fabricación de memorias magnéticas de muy alta densidad porque cada una de estas moléculas sería un bit de memoria. Para ello, en el aspecto práctico, no se necesitaría que esta propiedad se mantuviese a temperatura ambiente. Un computador central ubicado en un lugar determinado puede estar refrigerado con helio líquido; eso es tecnológicamente posible. Todos los superconductores que se están utilizando para generar campos magnéticos intensos (para aparatos de resonancia magnética nuclear, por ejemplo), se mantienen dentro de helio líquido y a nadie le preocupa que tengamos que llenar aquello con helio líquido para que funcione. En un ordenador es lo mismo.

¿El objetivo es que se mantengan las propiedades aumentando la temperatura? Eso sería lo ideal porque siempre es más barato trabajar a temperaturas superiores al nitrógeno líquido, pero, como acabo de decir, no es imprescindible.

¿Por qué los nanoimanes sí pierden la propiedad de memoria cuando aumenta la temperatura? Esos compuestos tienen efecto memoria porque poseen dos estados magnéticos diferentes caracterizados por dos orientaciones opuestas de sus espines. Esos dos estados se encuentran separados por una barrera energética relativamente baja, lo que hace que a bajas temperaturas la energía térmica sea suficiente para pasar de un estado al otro. Cuando esto ocurre, el nanoimán se desmagnetiza rápidamente y pierde la memoria. Si tienes sistemas con barreras más elevadas, necesitas temperaturas mucho más altas para pasar de un estado al otro, por lo que la memoria se mantiene a temperaturas más altas.

¿El magnetismo tiene algo que ver con el espín? El origen del magnetismo deriva prioritariamente del espín del electrón y este, a su vez, tiene que ver con el giro del electrón sobre su eje. La mecánica cuántica nos dice que ese electrón tiene un momento angular intrínseco, que se denomina espín, y que está cuantizado, es decir, que sólo puede presentar dos valores posibles que se relacionan con dos direcciones opuestas del espín. Para que nos entendamos, podemos considerar el electrón un imán minúsculo que puede tener orientado su polo norte en una dirección o en la opuesta.

¿Y cómo se aprovecha esa propiedad? Cuando dos electrones tienen espines orientados en direcciones opuestas, estos tienden a aproximarse para formar estados estables, que

son los enlaces químicos. La materia se basa en la formación de enlaces químicos, y esos enlaces se producen porque los electrones ganan energía si se aparean. Por tanto, casi toda la materia que nos rodea no es magnética. Es raro encontrar materia en la que los electrones estén desapareados, y el magnetismo se basa en esa rareza. Los electrones desapareados son la base del magnetismo. En magnetismo molecular el objetivo es tratar de controlar las interacciones entre electrones desapareados para conseguir que estos no se aparen, sino que tiendan a orientarse paralelamente, es decir, que interactúen ferromagnéticamente. Con esta aproximación se ha conseguido preparar un gran número de imanes y nanoimanes moleculares.

“LA NANOESCALA VA A SER EL PUNTO DE ENCUENTRO NO SOLO DE FÍSICOS Y QUÍMICOS; LOS QUE MÁS VAN A INTERVENIR EN LA NANOESCALA SON LOS BIÓLOGOS, LOS BIOQUÍMICOS, LOS BIOTECNÓLOGOS, LOS MÉDICOS. ES AHÍ DONDE ESTÁN LAS GRANDES APORTACIONES DE LA NANOCIENCIA”

¿Qué tiene esto que ver con la nueva ciencia de la espintrónica? La electrónica se basa en las cargas electrónicas moviéndose. La espintrónica, o espín electrónico, trata de aprovechar, además de la carga del electrón, su espín. Esta aproximación permite obtener dispositivos electrónicos nuevos como, por ejemplo, una válvula de espín, que está formada por un aislante o un metal no magnético situado entre dos láminas finas ferromagnéticas que actúan como electrodos. En este caso el paso de electrones a través de este dispositivo va a depender de la orientación relativa del espín en estos dos electrodos. Si los dos electrodos están magnetizados en la misma dirección, la carga pasará fácilmente de un electrodo al otro y la resistencia eléctrica será baja; por el contrario, cuando los dos electrodos se magnetizan en direcciones opuestas, el paso de cargas a través del dispositivo será más difícil, por lo que la resistencia eléctrica será elevada. A través del magnetismo puedo, por tanto, abrir y cerrar mi válvula y tener o no paso de electrones.

¿Esto es una posibilidad o una realidad? Una realidad. En todos los ordenadores se utilizan ya válvulas de espín para leer la dirección en la que están magnetizados los dominios en la memoria magnética. Los lectores de las memorias magnéticas de los discos duros se basan en este dispositivo. Esta es la primera aplicación de la nanotecnología, porque el dispositivo está formado por láminas de grosor nanométrico de dos metales ferromagnéticos. Las válvulas de espín que actualmente se utilizan fueron desarrolladas en 1997 por IBM y están for-

madas por metales o por óxidos metálicos. Sin embargo, muy recientemente se está tratando de fabricar válvulas de espín moleculares, basadas en moléculas. Ahí aparece lo que se denomina espintrónica molecular, que es la espintrónica basada en moléculas.

¿Cuál es el objetivo? Reducir el tamaño de la válvula de espín de modo que en lugar de una lámina espaciadora se pueda emplear una sola molécula. Pasaríamos así de la espintrónica a la nanoespintrónica. De ese modo, podríamos soñar con fabricar válvulas de espín unimoleculares, que es uno de los objetivos importantes de este campo.

En el área de la electrónica se está llegando a tales extremos de miniaturización que empiezan a aparecer fenómenos cuánticos indeseados. Esto, que en principio es un problema, se pretende transformar en una ventaja. ¿Se podría llegar a construir nanoestructuras que aprovecharan estas propiedades cuánticas y pudieran superar los límites que impone la física clásica? Yo pienso que sí. De hecho, un área que está empezando a despuntar es la computación cuántica, que pretende aprovechar los fenómenos cuánticos de algunos nanoobjetos, las moléculas imán, por ejemplo, para obtener bits cuánticos (qubits). Estos nuevos qubits prometen almacenar mucha más información en menos espacio y, además, resolver problemas computacionales considerados inabordables en computación clásica.

¿Por qué los nanoimanes moleculares han permitido observar fenómenos cuánticos? Porque son sistemas muy bien definidos en los que la química ha permitido obtener cristales formados por entidades moleculares idénticas.

¿Cómo exactamente? Date cuenta de que cuando se obtiene una molécula imán, tenemos una molécula formada por 12 átomos de manganeso que forman un *cluster* magnético, y algunos grupos orgánicos que rodean a este *cluster*. Es un sistema pequeño que no podemos estudiar porque no tenemos instrumentos que permitan detectar las propiedades magnéticas de una sola molécula. Para resolver esta limitación lo que hacemos es obtener un cristal formado por muchas moléculas imán. Estos cristales contienen millones de moléculas idénticas colocadas en la misma orientación. Además, gracias a los grupos orgánicos que rodean el *cluster* magnético, las interacciones entre estas moléculas imán son muy pequeñas. Todo ello permite obtener información sobre el comportamiento de una sola molécula imán a través de un estudio de las propiedades del cristal. Así podemos encontrar, además de fenómenos como el de la memoria magnética de la molécula imán, fenómenos cuánticos que aparecen en sistemas nanométricos.

En el año 2000 usted publicó en *Nature* el descubrimiento del primer material molecular con coexistencia de ferromagnetismo y conductividad metálica. Sus colegas no escatimaron elogios. Calificaron el material de “sueño hecho realidad” y “material híbrido que abre una nueva frontera en la electrónica molecular”. ¿Qué podemos esperar de este campo que se abre con los materiales moleculares multifuncionales?

Los materiales multifuncionales constituyen el otro foco caliente en magnetismo molecular. En estos casos, en lugar de utilizar un solo tipo de molécula, con una única propiedad, se pueden diseñar materiales con diferentes tipos de moléculas que exhiban más de una propiedad. El objetivo que yo persigo aquí es, jugando con los bloques de partida iniciales (las moléculas), ensamblarlos de forma adecuada para generar materiales que tengan más de una propiedad. Por ejemplo, ferromagnetismo y superconductividad en un mismo material. Las aportaciones que publicamos en *Nature* pretendían demostrar que una aproximación química molecular o supramolecular permite, eligiendo bien los bloques de partida, obtener materiales multifuncionales por diseño.

...Que son materiales que no existen en la naturaleza.
No, con las propiedades estructurales y electrónicas pretendidas, no existen. Son materiales sintéticos que podemos hacer por diseño.

Eso es un cambio de aproximación, de estrategia. Se dice que tradicionalmente la microelectrónica trabaja como un escultor: haciendo las cosas más y más pequeñas; mientras que la nanotecnología trabaja como un albañil: utilizando pequeños ladrillos para crear objetos superiores con distintas aplicaciones. Se trata de aprovechar el autoensamblado de moléculas funcionales para generar complejidad. De alguna forma, lo que he descrito hasta aquí ha sido el intento por diseñar y estudiar sistemas sencillos formados por una sola molécula. Pero la capacidad del químico para ensamblar estos nanoobjetos le puede permitir obtener edificios supramoleculares cada vez más complejos pero de estructura controlada, en los cuales el objetivo es conseguir que muestren coexistencia de más de una propiedad física o, incluso, nuevas propiedades.

¿Y hacerlo de manera menos burda? Sí. Hacerlo de manera dirigida: construir, en primer lugar, los bloques de partida moleculares; en segundo lugar, autoensamblar estos bloques aprovechando las interacciones supramoleculares para formar edificios de mayor complejidad estructural y electrónica. Este tipo de aproximación se enmarca dentro de lo que se denomina ingeniería cristalina. Se pueden hacer cristales con propiedades interesantes porque esas moléculas se han unido de la forma que yo pretendía que se unieran. Es una aproximación ascendente de la nanotecnología, es la aproximación *bottom-up*, en la que, a partir de un fragmento inicial de una molécula, puedo generar un edificio macroscópico, que puede ser interesante también. Es decir, no solamente son interesantes las moléculas en sí, o los sujetos nanoscópicos que puedan tener propiedades nuevas debidas a su tamaño, sino que también podemos generar a partir de un sistema nanoscópico como es una molécula, una especie de material nanoestructurado combinando moléculas.

Cuando usted considera el futuro de estos materiales multifuncionales, ¿lo ve como un terreno que va a dar mucho juego o en el que habrá muchas limitaciones? A mí me interesan aquellos materiales que tengan propiedades electrónicas de interés: magnéticas, eléctricas u ópticas. Esa

MUY PERSONAL



¿Tiene la sensación de estar trabajando en la frontera del conocimiento?

Trato de trabajar en la frontera del conocimiento; es decir, lo mejor posible con los instrumentos y conocimientos que tengo. Pero también en la frontera entre disciplinas, porque si consigo investigar en la frontera entre la física y la química puedo hacer aportaciones que alguien especializado en cualquiera de esas dos áreas no podría hacer.

¿Qué le llevó a convertirse en químico?

En un principio, la posición central de la química entre la física y la biología. Otra razón estaba relacionada con la estructura de la materia, su belleza y la posibilidad única que ofrece la química de manipular esas estructuras para crear nuevos compuestos que proporcionen propiedades novedosas.

¿Y si la química no se hubiera cruzado en su camino?
Seguramente, sería pintor o dibujante. El quehacer del artista también requiere mucha investigación y creatividad.

¿Un Leonardo da Vinci?

Bueno, él representa para mí la combinación perfecta de científico y artista.

¿Dónde se encuentra la motivación de un científico?

En la búsqueda de la excelencia. Aunque la investigación sea una actividad intelectual, su carácter competitivo la hace asemejarse a cualquier deporte.

En deporte los españoles ganamos seguro, ¿pero cómo andamos de excelencia científica?

En nuestro país el sistema funcional de los profesores e investigadores no es el más adecuado para conseguir esta motivación. Ganas estabilidad como funcionario, pero pierdes competitividad porque los incentivos económicos y el reconocimiento a la excelencia escasean. Este sistema funcional está desperdiando gran parte de la capacidad investigadora del país y contribuye a que no alcancemos el nivel de excelencia que deseáramos y que podríamos tener. Escasean los Premios Nobel españoles, cosa que contrasta con la posición de España en el panorama científico internacional en ciertas áreas científicas.

¿Cuáles son sus impresiones sobre el denominado Plan Bolonia?

R. Creo que es una buena idea mal ejecutada. En las universidades españolas la modificación de los planes de estudio se está haciendo de manera improvisada y siguiendo más los intereses internos de los departamentos que los de los estudiantes.

combinación de propiedades es lo que yo pretendo hacer. De lo que se trata es de estudiar la física de este tipo de sistemas, porque la física que aparece por esas combinaciones inusuales puede ser nueva también; puede aparecer física diferente a la física conocida hasta ahora, dado que desarrollamos materiales totalmente novedosos. Y, además de eso, puedo tener algún tipo de desarrollo en cuanto a que esos materiales son los que más perspectivas ofrecen desde el punto de vista de las aplicaciones. Si consigo que presenten las propiedades tecnológicas a temperaturas suficientemente elevadas, esos materiales pueden tener aplicaciones en electrónica y en otros campos.



“CASI TODA LA MATERIA QUE NOS RODEA NO ES MAGNÉTICA. ES RARO ENCONTRAR MATERIA EN LA QUE LOS ELECTRONES ESTÉN DESAPAREADOS, Y EL MAGNETISMO SE BASA EN ESA RAREZA”

Dénos algún ejemplo. Se pueden conseguir materiales en los cuales pueda controlar el magnetismo con luz, materiales fotomagnéticos. Eso no existe en la naturaleza. Conseguir un material que, al irradiarlo con luz, cambie su magnetismo es interesante por sus posibles aplicaciones. Y eso incidirá en el desarrollo de la espintrónica, porque la multifuncionalidad es una de las cosas que se persigue.

De todos modos, usted hace ciencia básica. Pero yo puedo demostrar fenómenos que a lo mejor pueden ser utilizados a nivel más aplicado. Por ejemplo, algunos de los sistemas multifuncionales que se pueden hacer son sistemas que pueden tener propiedades luminiscentes al mismo tiempo que tienen magnetismo. Se podría pensar en controlar la luminescencia de un material a través de un estímulo externo, un campo magnético, por ejemplo. Esta posibilidad abriría expectativas en campos aplicados de la electrónica molecular, como

por ejemplo el de los diodos emisores de luz orgánicos (OLED).

¿El magnetismo es una propiedad de la materia poco estudiada? El magnetismo para memorias magnéticas está muy explotado, pero para dispositivos luminiscentes no está explotado apenas. A lo mejor se consigue que los diodos emisores de luz sean más eficientes y que emitan más luz. Lo mismo podría suceder con los dispositivos basados en cristales líquidos. Son cosas que están ahí como posibilidad, y que la gente no ha explotado todavía. Yo hago investigaciones básicas, pero algunas de ellas también pueden estar relacionadas con este tipo de aplicaciones.

¿La nanoescala va a ser el punto de encuentro de físicos y químicos? Va a ser el punto de encuentro de más gente. No sólo físicos y químicos; los que más van a intervenir en la nanoescala son los biólogos, los bioquímicos, los biotecnólogos, los médicos. Es ahí donde están las grandes aportaciones de la nanociencia y la nanotecnología, en las aplicaciones biológicas, más quizás que en las electrónicas. Las aplicaciones electrónicas son posibles, pero para ello tenemos que modificar la tecnología actual basada en el silicio, y eso puede costar mucho. Hace mucho tiempo que dijeron que el silicio había llegado a su límite y, en realidad, año tras año sigue aportando cosas cada vez mejores. Evidentemente, vamos a seguir utilizando silicio, más que los materiales moleculares, aunque la electrónica molecular es una alternativa. Y cada vez más, tendremos silicio combinado con moléculas; habrá sistemas híbridos moleculares e inorgánicos formados por silicio o cualquier otro semiconductor inorgánico.

¿Su grupo de químicos trabaja coordinado con físicos y biólogos? Sí, en este momento coordino un proyecto español, el proyecto *Consolider* en nanociencia molecular, que intenta agrupar a físicos y químicos que trabajan en esta área de materiales moleculares. Pero también hay biólogos que trabajan con nosotros con el objetivo de entender cómo las moléculas biológicas se comportan cuando se ponen sobre una superficie, cómo se pueden manipular en una superficie, cómo se pueden medir propiedades de biomoléculas. Para eso hacen falta técnicas físicas más sensibles y técnicas químicas para poder modificar biomoléculas, o para introducir algún tipo de grupo que permita anclarlas a una superficie. Introducir nanopartículas magnéticas dentro de una biomolécula puede ser interesante, ya que estos sistemas magnéticos podrían utilizarse en el tratamiento de tumores por hipertermia o en la liberación de fármacos.

Suena prometedor. Son aplicaciones que están ahí y en las que es necesario que el químico intervenga porque tiene que ser la persona capaz de fabricar esas nanopartículas y de funcionalizarlas para que sean estables y puedan moverse a través de membranas sin problemas y liberar fármacos de manera controlada. Hay una parte importante de diseño químico en ese tipo de moléculas. Y los físicos tienen que ser capaces de poder estudiar y medir propiedades individuales de esos sistemas moleculares; tienen que desarrollar el instrumental necesario.