

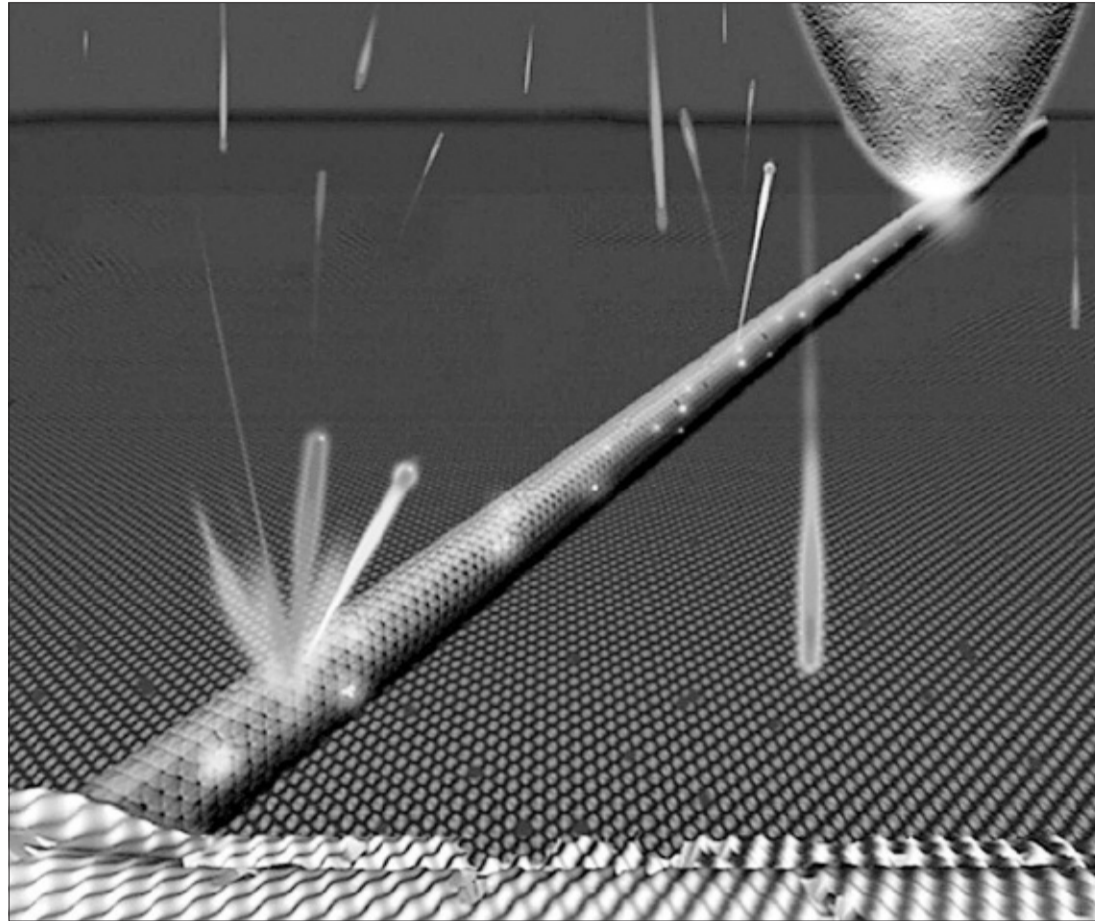
ELECTRÓNICA / Nanodispositivos

Un experimento muestra cómo varía la resistencia eléctrica en los nanotubos

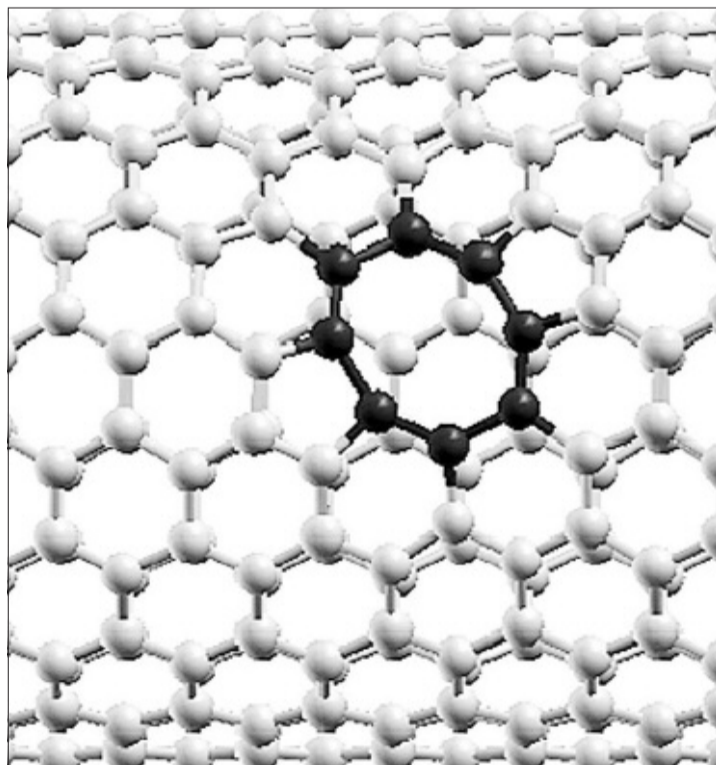
F. J. GARCÍA VIDAL
J. GÓMEZ HERRERO

En 1948 Walter Brattain, John Bardeen y William Shockley inventaron el transistor. La mecánica cuántica había descrito previamente cómo las propiedades conductoras de los materiales semiconductores podían ser modificadas mediante la inclusión de dopantes. Gracias a este estudio fundamental fue posible la invención del transistor. Años después comenzó el proceso de integración: primero fueron cientos, luego miles y así hasta llegar a las decenas de millones de transistores que incorporan los modernos microprocesadores. El transistor es por tanto un ejemplo perfecto de cómo la combinación de ciencia básica y tecnología introduce cambios revolucionarios en nuestra sociedad.

En 1991 el científico japonés Sumio Iijima identificó una nueva estructura molecular al estudiar compuestos de carbono con un microscopio electrónico; a esta nueva estructura se le denominó nanotubo de carbono. Para visualizar un nanotubo simple de carbono se puede comenzar por imaginarse una lámina de grafito larga, plana y estrecha. En esta lámina los átomos de carbono se disponen en los vértices de una estructura en forma de panal de abeja. Si esta lámina se pliega para formar un cilindro se obtiene un nanotubo de carbono. El diámetro de un nanotubo de carbono puede variar desde 0,5 nanómetros (hacen falta un millón de nanome-



Esquema del experimento sobre resistencia eléctrica de nanotubos de carbono en la Universidad Autónoma de Madrid. / UAM



Segmento de un nanotubo con una vacante de dos átomos. / UAM

Los nanotubos son mucho más sensibles que los semiconductores a los defectos

tros para formar un milímetro) hasta unos 3 o 4 nanómetros y su longitud puede llegar a ser de varias micras.

Poco tiempo después de haber sido aislados, se descubrió que los nanotubos de carbono presentaban propiedades mecánicas y eléctricas interesantes. Respecto al transporte de corriente eléctrica, se demostró que un nanotubo puede ser conductor o semiconductor dependiendo de cómo se realice el plegamiento de la lámina de grafito. Esta propiedad indujo a pensar en la posibilidad de utilizar en el futuro nanotubos como componentes básicos de los transistores. Debido a las dimensiones nanométricas de los nanotubos de carbono, se podrían introducir un número enorme de transistores en un microprocesador. Pero antes de llegar al proceso de integración, las propiedades electrónicas de los nanotubos de carbono deben ser entendidas en detalle.

En el trabajo que en el mes de julio aparece publicado en *Nature Materials* hemos intentado responder a una pregunta básica cuando se analiza cualquier material conductor: ¿cómo varía la resistencia eléctrica de un nanotubo

cuando se introducen defectos en su estructura? Los defectos han sido introducidos externamente bombardeando con iones de argón; estos iones al chocar con el nanotubo a una velocidad de decenas de miles de metros por segundo arrancan átomos de carbono del nanotubo, dejando vacantes en su estructura (véase figura). Para realizar las medidas de resistencia eléctrica se ha utilizado un microscopio de fuerzas atómicas. Este microscopio funciona midiendo la deflexión de una pequeña palanca en cuyo extremo se ha colocado una punta conductora muy afilada. Con este microscopio primero se visualiza el nanotubo y, contactando con la punta a lo largo de su longitud, se puede medir la resistencia eléctrica.

Nuestros experimentos demuestran que la resistencia del nanotubo con vacantes crece exponencialmente con su longitud mientras que en un conductor normal (un hilo de cobre, por ejemplo) la resistencia crece linealmente con la longitud. Mediante un análisis combinado teoría-experimento, hemos demostrado que esa dependencia exponencial hace que la resistencia eléctrica en el nanotubo sea extremadamente sensible a la cantidad de defectos y que la presencia de tan sólo un 0,03% de vacantes sea capaz de incrementar la resistencia eléctrica de un nanotubo de 400 nanómetros de longitud en más de mil veces. Este hallazgo podría permitir modificar a voluntad la resistencia en un nanotubo me-

dante la inclusión controlada de defectos, de manera análoga a como se hace actualmente en los materiales semiconductores. Desde un punto de vista fundamental, la extrema sensibilidad a la presencia de defectos es consecuencia del carácter cuasi-unidimensional del nanotubo y del comportamiento mecano-cuántico (ondulatorio) de los electrones dentro de él. Cuando un electrón rebota contra un defecto interfiere destructivamente, produciéndose una reducción en el flujo de electrones y por tanto un aumento en la resistencia. Este proceso de interferencia destructiva es mucho más acusado cuanto más estrecho es el canal por el que discurren los electrones (como en un nanotubo) y cuantos más defectos tiene el sistema.

Totalmente español

En ciencia, tanto el factor humano como el tecnológico son importantísimos para obtener buenos resultados científicos. En este caso el equipo de investigadores estaba compuesto por seis miembros de la Universidad Autónoma de Madrid (Cristina Gómez, Blanca Biel, Pedro de Pablo, Fernando Flores y los autores de este artículo) más un investigador de la Universidad del País Vasco (Ángel Rubio). Respecto a la parte tecnológica, el microscopio ha sido íntegramente diseñado y construido en España por la compañía Nanotec Electrónica S.L., una empresa surgida de la Universidad Autónoma de Madrid y que es un pequeño ejemplo de cómo la inversión en investigación puede revertir de manera positiva en la sociedad.

Francisco José García Vidal y Julio Gómez Herrero son profesores de la Universidad Autónoma de Madrid.

MOLÉCULAS

● Edad de la Vía Láctea

Astrónomos de la Universidad de Chicago han puesto a punto un nuevo método para calcular la edad de la Vía Láctea, que se basa en comparar la velocidad de desintegración de dos elementos radiactivos. La edad obtenida es de 14.500 millones de años con un error máximo de 2.000 millones de años. Esta edad es compatible con la de 12.200 millones de años obtenida por otros métodos y verifica que tras la Gran Explosión que dio origen al Universo, "las grandes estructuras, incluida nuestra galaxia, no tardaron mucho en formarse", dice Dauphas. (*Nature*).

● Riesgo volcánico

La isla de Tenerife ya cuenta con un mapa de riesgo volcánico. Científicos de la Estación Volcanológica de Canarias han presentado la que consideran la primera evaluación rigurosa sobre la posibilidad de una nueva erupción del Teide. Su investigación, publicada en la revista *Estudios Geológicos*, describe las zonas de mayor peligro y es un paso fundamental para poder detectar con tiempo un eventual despertar del Teide, que en las últimas décadas no ha dado síntomas de actividad. La evaluación se basa en el estudio de las señales dejadas por las erupciones en los últimos 30.000 años.

● Supercomputación

Madrid contará con un nodo de supercomputación y visualización (Cesvima) que tendrá un 5% de la capacidad de cálculo del ordenador MareNostrum del Centro Nacional de Supercomputación (en Barcelona). Este nodo, en el que participan IBM, la Universidad Politécnica de Madrid y el Ciemat, tendrá acceso directo a las capacidades de cálculo de MareNostrum y también a los recursos de almacenamiento masivo del Ciemat. Estará especializado en modelización y tratamiento masivo de datos y visualización y reconstrucción de modelos en 3D.

● Casi un lago en Titán

Un rasgo oscuro en la superficie de la luna Titán de Saturno, visible en las imágenes tomadas por la sonda *Cassini*, fascina a los científicos, que ven en él un posible lago de hidrocarburos. Esta lámina lisa tiene el tamaño de lago Ontario y está en la región más nubosa de Titán. Hasta ahora no se han encontrado pruebas de los lagos predichos en Titán por los astrónomos, y advierten que existe la posibilidad de que el lago observado esté en realidad seco.

● E-Ciencia en España

Representantes de 14 instituciones de I+D españolas, incluidos el CSIC, la Rediris y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), han propuesto la creación de una red de centros con infraestructuras de gran capacidad de cálculo y almacenamiento de datos accesibles desde las principales instituciones de investigación para facilitar la colaboración entre ellos. La propuesta se detalló en el marco de las Jornadas de e-Ciencia en España, celebradas la semana pasada en Santiago de Compostela, con participación de casi 200 expertos.