

Grafeno, el material del futuro

El grafeno, primer material bidimensional creado por el hombre, está llamado a transformar distintas industrias, desde la energética a la electrónica, pasando por la biomédica o la aeroespacial, puesto que posee una serie de cualidades que lo hacen único en el mundo. La transición de su aplicación desde los centros de investigación a la producción industrial masiva es el principal reto de un elemento innovador por el que están apostando organismos públicos y empresas privadas en todo el mundo.

Aunque el grafeno se conoce desde los años 30 (época en se describió su enlace químico y su estructura) fue un material denostado durante décadas, al considerarse inestable termodinámicamente. Por eso supuso una auténtica revolución científica que, en 2004, Andre Geim y Konstantin Novosiólov consiguieran aislar el grafeno a temperatura ambiente, extrayendo del grafito una lámina de un solo átomo de carbono. Los científicos de origen ruso obtuvieron seis años más tarde el premio Nobel por este hallazgo.

Desde entonces, las investigaciones sobre este material se han ido multiplicando en todos los rincones del planeta, y muchos expertos lo consideran el material del futuro, al ser muy abundante y poseer unas propiedades revolucionarias:

- **Extremadamente ligero.** Es un millón de veces más fino que una hoja de papel y una lámina de un metro cuadrado solo pesa 0,77 gramos. “Es el material más delgado jamás desarrollado”, revela Mar García Hernández, profesora de investigación del Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid del CSIC, hasta el punto de que “con un gramo de grafeno podríamos cubrir la tercera parte de un campo de fútbol”.
- **Muy resistente.** Es el material más duro que se conoce. Tiene una resistencia mecánica de 42 N/m (tensión de rotura), mientras que una lámina del acero del mismo espesor, tendría aproximadamente una resistencia de 0,40 N/m
- **Flexible.** Una lámina puede estirarse un 10% de su tamaño normal de forma reversible y puede doblarse sin dañarse hasta un 20%.
- **Prácticamente transparente, pero denso.** Ni siquiera un átomo de helio (el más diminuto que existe) puede atravesar sus agujeros (entre los átomos de carbono).
- **Superconductor.** Transporta muy bien la electricidad y es el mejor conductor de calor conocido. Su conductividad térmica es de 5.000 W/mK, mayor que la del cobre, el diamante o la plata, lo que le permite disipar el calor y soportar intensas corrientes eléctricas sin calentarse.
- **Impermeable.** Las láminas de grafeno tienen átomos de carbono tan estrechamente unidos que pueden funcionar como redes atómicas súper finas, impidiendo el paso de otros materiales.

- **Inerte químicamente.** No reacciona con el oxígeno del aire, ni se oxida.
- **No contamina.** Es carbono puro, extraído directamente de la naturaleza.
- **Biocompatible.** No es tóxico para las células biológicas, lo que favorece sus aplicaciones en el campo de la medicina.

Industrialización del grafeno

Todas estas propiedades hacen que el grafeno sea conocido como el “material milagroso”, y las oportunidades de innovación tecnológica que proporciona son alabadas tanto por la comunidad científica como industrial por las mejoras en productividad, eficiencia y rentabilidad que su aplicación puede conllevar. Todos estos factores han disparado su demanda en los últimos años, aunque se está encontrando con un gran obstáculo: el suministro aún no es suficiente.

Al ser extremadamente ligero, resistente, flexible y superconductor, sus propiedades son especialmente demandadas por la industria

García Hernández pone sobre la mesa uno de los grandes retos a los que se enfrenta el grafeno en el futuro: su producción “libre de imperfecciones y a bajo coste”. No obstante, su obtención es relativamente sencilla, bien por exfoliación o a partir de diversas fuentes basadas en el carbono, que es uno de los materiales más abundantes de la Tierra. Sin embargo su producción no está avanzando de una manera más rápida porque conseguir el material de mayor calidad (cuando el grafeno demuestra sus cualidades) requiere unos procesos de sintetización complicados y costosos.

“El proceso para su industrialización se ha ralentizado porque, aunque la síntesis del grafeno a nivel industrial ha progresado mucho, el precio de algunas de las formas en las que se fabrica sigue siendo alto como consecuencia de que el mercado no está todavía desarrollado y, por tanto, su producción no se beneficia de una economía de escala”, señala la investigadora del CSIC.

De ahí que su estudio a nivel de laboratorio y su uso a escala industrial esté más restringido. De hecho, algunos prototipos ya han demostrado que se pueden desarrollar baterías de grafeno diez veces más potentes que las actuales o lentes de cámaras mil veces más luminosas, pero sus costes de fabricación resultan excesivamente elevados en grandes cantidades.

Por eso las investigaciones actuales están encaminadas a la búsqueda de métodos de obtención del grafeno más baratos, a mayor escala y con más calidad, como la descubierta por expertos de la Universidad de Illinois para fabricar este material a partir de agua carbonatada; la de la Universidad de Rice, que ha conseguido extraer grafeno de alta calidad a partir del azúcar común calentado a 800 ° C; o el Instituto de Química Física de la Academia Polaca de Ciencias, que ya está empleando ultrasonidos para obtener láminas oxidadas y escamas de grafeno.

¿Qué depara el futuro?

La investigadora del CSIC hace hincapié en la integración de este material en tecnologías convencionales, como la electrónica basada en silicio, como clave de futuro: “Se espera poder producir moduladores optoelectrónicos que ayuden a conseguir sistemas de telecomunicaciones más ágiles”, apunta García Hernández. No obstante, el grafeno conduce el calor cien veces más rápido que el silicio usado en los chips, lo que permitiría fabricar procesadores diez veces más veloces, más ligeros y eficientes.

Eso sí, “la integración del grafeno en muchas aplicaciones tiene que competir con otras tecnologías bien desarrolladas en las que ha habido décadas de inversión sostenida y, por tanto, en esos sectores resulta difícil su implantación, porque implicaría cambiar cadenas de producción y cadenas de valor muy bien establecidas y eso es muy costoso”, resalta García Hernández.

En las universidades y centros de investigación ya están ensayando para la fabricación de aviones con una cobertura de grafeno en las alas para reducir el peso total de la nave.

Con todo, las investigaciones ya han permitido que el grafeno se utilice como refuerzo mecánico de compósitos poliméricos para mejorar sus propiedades, lo que dará lugar a materiales más resistentes y conductores, de gran interés para las industrias armamentística, automotriz y aeroespacial. Este último sector también se está viendo favorecido por los avances en el uso combinado del grafeno en otros compósitos como retardante del fuego, y se están empezando a hacer pruebas en condición de gravedad cero para drenar calor desde elementos que lo generan.

Además de estos tres sectores, en los que la previsión de aplicaciones es más prometedora, no son los únicos. “Se están haciendo ensayos muy interesantes para utilizar el grafeno como electrodo flexible y nada invasivo en tejido cerebral. Otro campo muy activo es el de sensores basados en grafeno para hacer wearables en el ámbito biomédico y medioambiental, y se están desarrollando aplicaciones en baterías, supercondensadores y pilas de combustible”, señala García Hernández.

En las universidades y centros de investigación ya están ensayando para la fabricación de aviones con una cobertura de grafeno en las alas para reducir el peso total de la nave; espuma de grafeno creada mediante nanotubos de carbono, ligera y flexible, pero que soporta hasta 3.000 veces su peso sin romperse; o chalecos antibalas formados por dos capas de grafeno y un sustrato de silicio de un grosor similar al papel de aluminio. Estas son algunas de las aplicaciones revolucionarias de un material que, tras años de investigaciones, mostrará en los próximos su gran potencial con su industrialización a gran escala.

Aplicaciones futuras del grafeno

Fuente: “Graphene Flagship. Annual report 2017”, de Graphene Flagship

Iniciativa Graphene Flagship

Aunque el desarrollo de aplicaciones basadas en grafeno está más desarrollado en Corea y China, donde se registran el mayor número de patentes, García Hernández se congratula de que Europa lidere la carrera científica a nivel internacional, gracias al desarrollo de programas específicos, como el Graphene Flagship.

Esta iniciativa, la mayor en investigación de la UE con una duración de diez años, tiene un presupuesto de 1.000 millones de euros y una red de 150 grupos de investigación académicos e industriales. Representa una nueva forma de investigación conjunta coordinada a una escala sin precedentes.

Puesta en marcha en 2013, acaba de pasar el ecuador de su existencia “con grandes avances y expectativas en el desarrollo de muchas aplicaciones”, como la integración de grafeno en optoelectrónica, en condiciones similares a las que se requieren en esa industria, tal y como reconoce Mar García Hernández, que lidera el *Workpackage de Materiales* del proyecto. Además, la investigadora elogia los grandes desarrollos en el campo de los compuestos poliméricos para refuerzo mecánico y de polímeros conductores de la electricidad y del calor.

En esta línea, los trabajos de investigación se están centrando en la funcionalización de grafeno para aplicaciones biomédicas, como sensores específicos de moléculas biológicas. También se está avanzando en su síntesis directa sobre sustratos que no conducen la electricidad, como el vidrio convencional, y en las obleas de silicio que se utilizan en electrónica o sobre óxido de titanio para aplicaciones en células fotovoltaicas.

Ha colaborado para la elaboración de este artículo...

Mar García Hernández (Madrid, 1959) es profesora de Investigación del CSIC. Realizó su doctorado en el Instituto de Estructura de la Materia del CSIC y ha trabajado en el Instituto J. Heyrovsky (Academia Checa de Ciencias, Praga), la École Polytechnique Fédérale de Lausanne y el Rutherford Appleton Laboratory (Oxfordshire, Reino Unido).

Su investigación en física experimental de la materia condensada se inició en sistemas desordenados, y ahora se centra en sistemas de baja dimensionalidad y fuertemente correlacionados. Desde 2008 dirige el Laboratorio de Magnetismo y de Magnetotransporte del Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid del CSIC.

Es líder del Workpackage de Materiales del proyecto europeo Flagship de la Comunidad Europea. Ha publicado más de 270 artículos científicos en revistas internacionales, dirigido numerosos proyectos de investigación, nacionales y europeos, así como tesis doctorales, y es coautora de varias patentes. Desde 2007 es directora científica del Certamen ‘Arquímedes’ para el fomento de

la investigación entre estudiantes de grado y máster. Es coordinadora de la Red Española de Grafeno, y en 2017 recibió el premio 'Investigador Innovador' del Foro de Empresas Innovadoras.