

## El futuro del grafeno (I): desarrollo de nuevos materiales compuestos

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

Palabras clave: Grafeno, material compuesto, nanotecnología

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.2.1; MT 3.2.2; MT 3.2.3; MT 4.3.2; MT 4.3.4.

En el N° 36 del Boletín de Observación Tecnológica en Defensa del tercer trimestre de 2012<sup>1</sup>, ya hacíamos referencia al grafeno, explicando algunas de sus magníficas propiedades y de sus potenciales aplicaciones para el sector de la defensa, entre las que podemos destacar:

- Alta conductividad térmica y eléctrica.
- Elevadas propiedades mecánicas y estructurales.

<sup>1</sup> <http://www.defensa.gob.es/Galerias/areasTematicas/investigacionDesarrollo/fichero/Boletinn36.pdf>

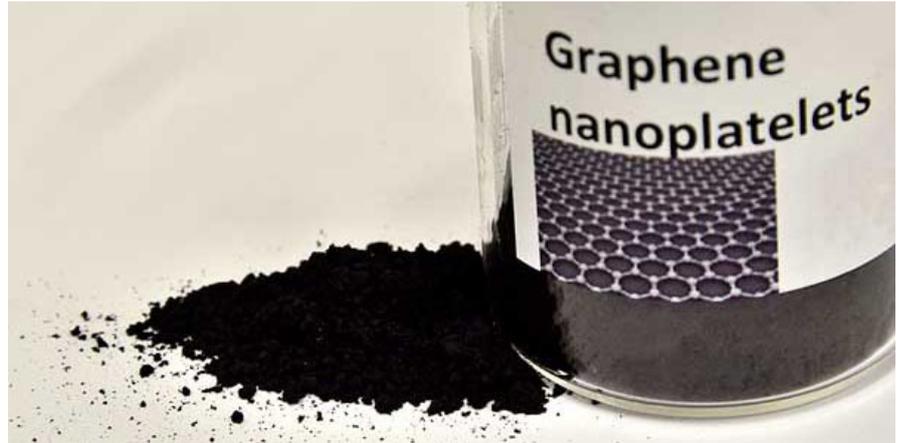


Fig. 1. Los nanoplatelets de grafeno para la fabricación de materiales compuestos están formados por varias capas de grafeno apiladas (entre 1 y 10 capas). (Fuente: [www.tecnopackaging.com](http://www.tecnopackaging.com)).

- Gran resistencia al desgaste por fricción.
- Capacidad de protección frente a la corrosión y degradación.
- Capacidad de apantallamiento electromagnético.

Este tipo de propiedades hacen del grafeno un material ideal como aditivo de otros materiales para conseguir mejorar o añadir nuevas funcionalidades a los mismos. Es

decir, para la obtención de nuevos materiales con mejores prestaciones, como por ejemplo serían las siguientes:

- Aumento de la conductividad eléctrica (se puede introducir conductividad eléctrica en materiales tradicionalmente aislantes).
- Aumento de la conductividad térmica y estabilidad dimensional.



Fig. 2. Los compuestos poliméricos de grafeno tienen muy buen comportamiento mecánico y son muy ligeros, motivos por los cuales terminarán incorporándose a la fabricación de las futuras plataformas aéreas. (Fuente: [www.azonano.com](http://www.azonano.com)).



Fig. 3. El grafeno sería ideal para el desarrollo de una nueva generación de sistemas de protección pasiva (Fuente: [www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10335](http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10335)).

- Mejora de la relación resistencia mecánica/peso (materiales estructurales más ligeros).
- Aumento la resistencia a impactos (nuevos materiales para su empleo como sistemas de protección pasiva).
- Mejora de las propiedades barrera (para su empleo en filtros, materiales impermeables, protección química y biológica, etc.).
- Incremento de la resistencia al fuego, etc.

Con el objetivo de explotar a escala macroscópica algunas de las propiedades anteriormente comentadas del grafeno,

se puede emplear este material como “nanorelleno” disperso en una matriz de tipo polimérico o inorgánico<sup>2</sup>. Hasta la fecha, la mayoría de los esfuerzos se han centrado en matrices poliméricas mostrando mejoras en sus propiedades mecánicas y en las conductividades eléctrica y térmica con tan sólo la adición de pequeñas fracciones de volu-

<sup>2</sup> Con respecto a compuestos de grafeno de matriz metálica, no se tiene constancia de grandes desarrollos en este ámbito y sólo se sabe de experimentos con matrices de cobre y de níquel, sobre las que se consiguió mejorar significativamente la resistencia mecánica. Por ello, no se hará más referencia a este tipo de matrices en este artículo.

men (menores al 1%) de grafeno. Comparativamente, las matrices inorgánicas (cerámicas) han recibido poca atención, pero las mejoras obtenidas en estos materiales son del mismo modo muy interesantes.

También se han hecho importantes desarrollos en el área de derivados químicos de grafeno con el fin de controlar la conductividad eléctrica y propiedades ópticas de los productos finales y en la integración de nanopartículas inorgánicas con grafeno, formando materiales híbridos para su aplicación en distintas áreas como son la catálisis, la biomedicina o la energía.

Es necesario destacar que en los últimos años, se ha evolucionado mucho en los métodos de producción de grafeno y que el coste (que se ha visto reducido considerablemente) ya no depende tanto del procesado en sí mismo, sino de la propia demanda. Actualmente, este material se puede producir partiendo de átomos y moléculas más pequeñas (bottom-up) o mediante procesos de exfoliación del grafito, pudiéndose generar grafeno en grandes cantidades sin necesidad de aplicar altas temperaturas ni catalizadores metálicos, como ocurre con los nanotubos de carbono.

### Materiales compuestos de matriz polimérica

Las mayores ventajas del uso del grafeno en matrices poliméricas con res-

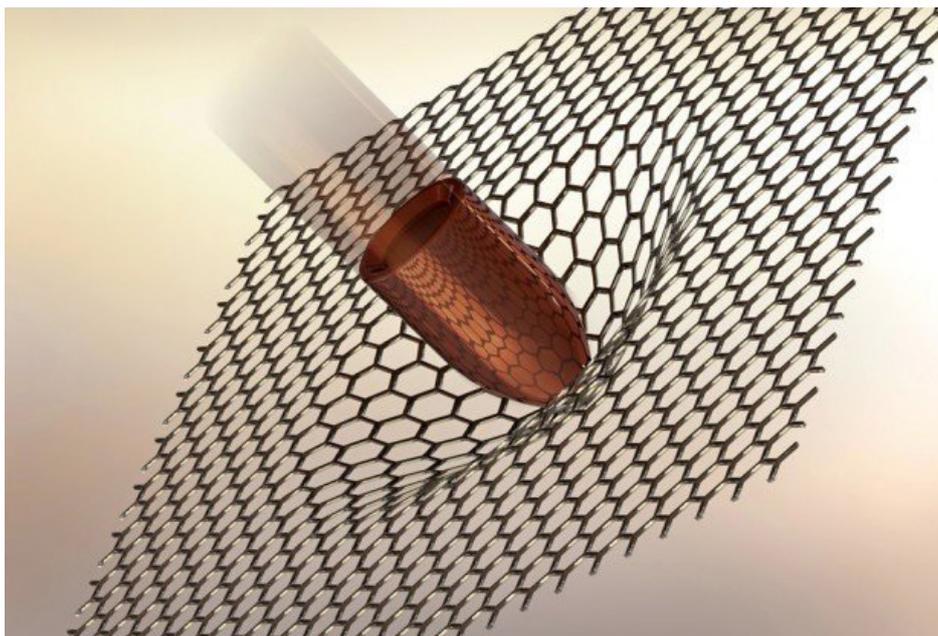


Fig. 4. El grafeno sería ideal para el desarrollo de una nueva generación de sistemas de protección pasiva (Fuente: [www.redorbit.com/news/science/1113289344/graphene-could-build-better-bulletproof-vests-112914/](http://www.redorbit.com/news/science/1113289344/graphene-could-build-better-bulletproof-vests-112914/)).

pecto a otros refuerzos más tradicionales son la combinación de propiedades mecánicas y de conductividad (electrónica y térmica), así como una mejor resistencia química y térmica y bajo coeficiente de expansión térmica. Se han conseguido desarrollar nuevos materiales compuestos destinados a la industria aeronáutica y automovilística, pinturas, adhesivos, material deportivo, etc, que reúnen algunas de estas propiedades. También se han dedicado grandes esfuerzos en este sentido con el objetivo de conseguir aumentar la resistencia mecánica por factores 2-4 con respecto al polímero sin reforzar. Además, se ha empleado menos de un 1% en volumen de grafeno, con lo cual se proporciona un refuerzo que no implica un empeoramiento de otras propiedades ni que supone un aumento significativo del peso. En el futuro, se espera producir materiales con un mayor volumen de refuerzo, para conseguir mejorar sus propiedades en cuanto a conductividad eléctrica y térmica, y con prestaciones mecánicas que puedan superar a las de los materiales estructurales más comunes como el acero, reduciendo sensiblemente el peso de los mismos.

Un área emergente es el desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras macroscópicas (por ejemplo, compuestos de fibra de carbono) y grafeno disperso en la matriz, de gran interés para sectores industriales como el aeroespacial y el de la automoción, etc. En este caso, será necesario llevar a cabo estudios adicionales sobre el ciclo de vida de los materiales, que abordan cuestiones tales como los efectos de grafeno sobre las técnicas habituales de procesamiento de materiales compuestos o las posibilidades de reciclaje o reutilización de los mismos.

A pesar de estos avances, este campo está todavía por evolucionar y son muchos los desafíos que la comunidad científica y tecnológica tiene que afrontar. El estudio de las interacciones del grafeno con la matriz a escala nanométrica es de gran importancia ya que de éstas dependen las propiedades del compuesto a tamaño macroscópico. El grafeno, al ser láminas de un átomo de grosor, tiene un área superficial muy alta, lo que implica que en un material compuesto, la superficie de contacto grafeno/matriz es

muy grande, convirtiéndose así en un parámetro de gran interés para ajustar las propiedades mecánicas y de conductividad. Para entender mejor estas interacciones, se requieren complejos procesos que implican estudios de modelado y simulación y posteriores experimentos. Otro paso muy importante será también el control de la dispersión de los nanorefuerzos, ya que una dispersión homogénea por toda la matriz garantiza maximizar las propiedades del compuesto<sup>3</sup>.

### Materiales compuestos de matriz cerámica

Los materiales cerámicos tienen propiedades muy interesantes, como es su capacidad de conservar la resistencia mecánica por encima de los 600 °C, pero tienen un inconveniente importante, su alta fragilidad (baja tenacidad a fractura). Esto hace de estos materiales que sean más difíciles de fabricar y de mecanizar que por ejemplo los metales o polímeros. Por lo tanto, para su obtención se emplean métodos costosos que a menudo requieren altas temperaturas y presiones. Para hacerlos más tenaces (menos frágiles) se suelen emplear agentes de relleno. Es conocido el caso del empleo de los nanotubos de carbono, que además de mejorar la rigidez otorga a los compuestos cerámicos la capacidad de conducir la electricidad.

Esto también ocurre en compuestos de cerámica con grafeno, pero además, los primeros estudios han mostrado un aumento de la tenacidad significativo (aumento de un 235% con sólo 1,5% en volumen de grafeno) y una mayor conductividad eléctrica en comparación con sus homólogos de nanotubos de carbono. La posibilidad de poder emplear técnicas de micro-mecanizado con estos compuestos (por su mayor tenacidad) y su capacidad de conducción eléctrica hace más fácil la fabricación de MEMS, utilizados en sensores y actuadores para aplicaciones a alta temperatura.

Los compuestos de cerámica y grafeno también tienen otras ventajas, tales como el menor coste debido a unas condiciones de procesamiento me-

nos estrictas. Generalmente, se requieren temperaturas superiores a los 1400 °C para obtener los materiales cerámicos. Los compuestos de cerámica y grafeno pueden fabricarse usando métodos de calentamiento convencionales que operan entre los 500 °C y los 1300 °C, lo que además reduce la porosidad y aumenta la densidad de la cerámica (mejora la calidad de la cerámica).

Este tipo de materiales son interesantes en aplicaciones relacionadas con la fricción y el desgaste (componentes de motores, rodamientos, herramientas de corte para el trabajado con metales, etc.). Existen ensayos que muestran una mejora en la respuesta de estos compuestos bajo contacto deslizante, donde las láminas de grafeno de la matriz cerámica parecen actuar como un lubricante sólido.

Al igual que en el caso de los materiales compuestos de matriz polimérica, existen cuestiones importantes que deben resolverse, como la caracterización a nivel atómico de las zonas de contacto cerámica/grafeno para optimizar las propiedades conductoras a escala macro y para comprender el complejo comportamiento mecánico de los materiales compuestos al aplicarles una fuerza mecánica.

### El futuro

El plazo estimado para el empleo de materiales compuestos con grafeno para diferentes aplicaciones es variado, ya que éstos tienen diferentes grados de madurez. El objetivo de la comunidad científica e industrial es que en unos 5-10 años ya estén disponibles materiales compuestos funcionales para aplicaciones estructurales, polímeros flexibles para aplicación en sistemas electrónicos y dispositivos basados en grafeno para almacenamiento de energía.

No obstante, queda patente que el desarrollo de métodos de síntesis simples y de bajo coste es crucial para el devenir de estos avances tecnológicos. También lo es el estudio fundamental de la interacción grafeno/matriz, así como tecnologías que permitan un fácil procesamiento (dispersión homogénea del nanorefuerzo en la matriz) para lograr la modulación de las propiedades de estos materiales compuestos que haga posible la adaptación de los mismos a las necesidades requeridas para cada aplicación.

<sup>3</sup> A escala nanométrica, los materiales tienden a agregarse, por lo tanto hay que controlar la dispersión de éstos en la matriz para que pueda ser lo más homogénea posible.