

Estudio: Aplicaciones del grafeno en defensa

Autores: Fundación Tecnalia.

Palabras clave: Palabras clave:
Grafeno, DAFO, nanotecnología,
roadmap.

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

Introducción

Son de sobra conocidas las propiedades únicas del grafeno¹. Algunas de ellas son sus conductividades térmica y eléctrica, resistencia mecánica y su capacidad de funcionalización. Todo ello hace que resulte muy atractivo en diversas aplicaciones de defensa²: dispositivos (opto)electrónicos, sistemas flexibles, dispositivos para el almacenamiento de energía, recubrimientos multifuncionales, materiales compuestos de altas prestaciones mecánicas y de protección balística, gestión de firma electromagnética y camuflaje, membranas y filtros, dispositivos biomédicos, sensores y materiales energéticos.

Tecnalia Research and Innovation (España) en colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena (España) y *Cambridge Nanomaterials Technology Ltd* (Reino Unido) han realizado un estudio financiado por la Agencia Europea de Defensa sobre las aplicaciones del grafeno en defensa. El proyecto se inició en diciembre de 2017 y finalizó en marzo 2019.

El objetivo general del proyecto era obtener una visión integral de los usos potenciales del grafeno en defensa, haciendo un análisis de la madurez de la tecnología, los niveles de inversión necesarios y su relevancia en distintos ámbitos de aplicación militar. El estudio incluye una serie de hojas de ruta y análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) que son el resultado de la

¹ Propiedades y aplicaciones del grafeno en defensa (<https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/24/Boletinn36.pdf>)

² Monografías del SOPT (https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/182/monografia_sopt_12.pdf)

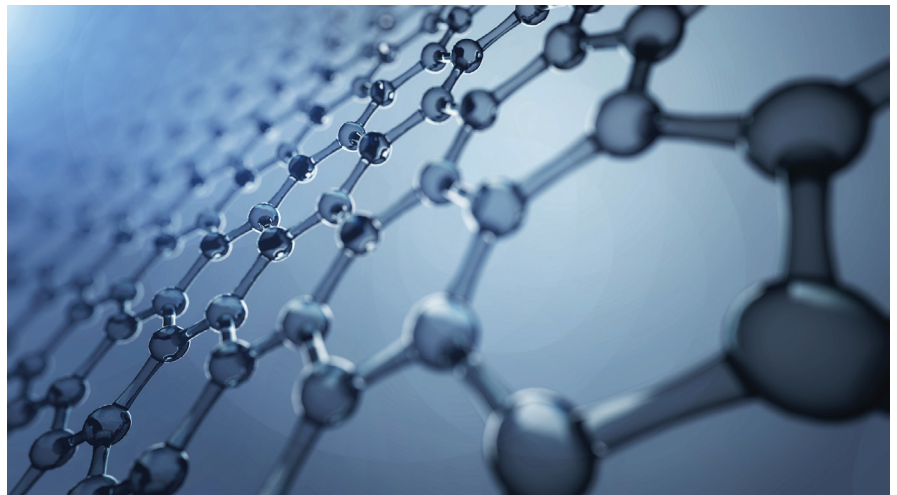


Fig. 1. El grafeno es un material de gran interés para el sector de la defensa, ya que permitirá la mejora de múltiples propiedades de los materiales que actualmente se conocen. (Fuente: Tecnalia)

aplicación de un conjunto de métodos cualitativos y cuantitativos.

Otra parte importante del proyecto más novedosa en este tipo de estudios y que ha supuesto una fuente de información importante proviene del análisis experimental realizado en objetivos específicos.

Análisis del Estado de la Técnica

El análisis de artículos científicos y patentes ilustra que el grafeno es una tecnología que todavía se encuentra en un estado emergente. El nivel de madurez de los materiales y demostradores basados en grafeno es en general bajo como para poder evaluar de forma realista su comerciabilidad y coste/beneficio. Muchas empresas están esperando a niveles de madurez más altos con pruebas de concepto claras. La falta de inversión privada se ha convertido en una de las mayores barreras, aunque se ha detectado un enorme esfuerzo en protección industrial. Cabe destacar que en la mayoría de los casos, los proyectos con aplicaciones en defensa se consideran información sensible y debido a ello no son de acceso público. De hecho, se han encontrado pocas publicaciones y patentes que mencionen el sector de la defensa como ámbito de investigación.

Actualmente, la mayor barrera es el paso desde la “prueba de concepto” hasta la obtención de un demostrador con procesos comercialmente adecuados. Se requiere un mayor conocimiento del material y sus procesos para transformar todo el potencial del

grafeno en aplicaciones relevantes, permitiendo una comparativa razonable con tecnologías competidoras en cuanto a funcionamiento y ratio coste/beneficio.

Otro inconveniente es la falta de cadena de suministro para gran parte de las aplicaciones. Aunque existen suficientes fabricantes de grafeno en Europa para responder a la demanda actual, la falta de estándares, la ausencia de información sobre su toxicidad y la necesidad de desarrollos de grafeno procesado para cada uso está retrasando el establecimiento de la cadena de valor para muchas aplicaciones.

Análisis Experimental

A lo largo del proyecto, se investigaron diversos materiales base grafeno: óxido de grafeno reducido, *nanoplatelets* de grafeno y grafeno *few-layer* en formato polvo, así como *films* de grafeno. Se analizó su procesabilidad para ser integrado en resinas epoxi y adhesivos.

Se analizaron las siguientes propiedades:

- Propiedades electro-ópticas. Una alternativa actual al uso de soluciones basadas en óxido de indio y estaño (ITO) es la utilización de nanohilos de plata que aportan flexibilidad a los electrodos transparentes. El grafeno mejora la robustez de estos electrodos.
- Conductividad eléctrica/térmica. Se lograron *composites* con films de grafeno embebidos en resina



Fig. 2. Se han obtenido compuestos con films de grafeno embebidos en resina epoxi. (Fuente: Tecnalia)

epoxi con conductividades eléctricas optimizadas de gran interés para aplicaciones como apantallamiento electromagnético (*EMI shielding*) o sistemas anti-hielo. La conductividad térmica aumenta más de dos órdenes de magnitud con esta tecnología.

- Propiedades electromagnéticas. El uso de recubrimientos de grafeno para absorción radar en banda X da como resultado reducciones en la sección radar equivalente (RCS) por encima de los 15 dB³.
- Propiedades mecánicas. Se analizaron diferentes porcentajes de tres tipos de grafeno. Se añadió grafeno *few-layer* a una resina termoestable uretano-acrítica y el *nanocomposite* resultante mostró mejoras significativas de las propiedades mecánicas, destacando la mejora de la absorción de energía al impacto (resiliencia).
- Propiedades balísticas. Se obtuvieron mejoras del 16.2% en el límite balístico con un dopaje del 2% en la resina termoestable.

Teniendo en cuenta las necesidades militares futuras establecidas en la *Generic Military Task List*⁴ (GMTL) y en

el *EDA Capability Development Plan*⁵ (CDP), así como el análisis del estado del arte y las respuestas de expertos, se identificaron como de mayor interés una serie de ámbitos clave del grafeno para el sector de la defensa, que son los siguientes:

- Electrónica y optoelectrónica
- Sistemas Flexibles
- Energía
- Materiales Compuestos
- Protección Balística
- Recubrimientos Multifuncionales
- Camuflaje y recubrimientos para gestión de firma
- Filtros y membranas
- Sensores
- Aplicaciones Biomédicas
- Materiales Energéticos

Hoja de ruta del Grafeno

Se estimó el tiempo que los nuevos productos o aplicaciones del grafeno necesitarán para llegar al mercado de defensa y la inversión necesaria prevista, así como su relevancia para aplicaciones militares. El proceso de análisis se basó en información

³ https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/external_publications/EP60000/EP67656/RAND_EP67656.pdf

⁵ <https://eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/capability-development-plan>

procedente de la búsqueda de artículos científicos, patentes, estudios de mercado, bases de datos de proyectos y de otras fuentes. Se preparó un cuestionario *on-line* para evaluar y cuantificar el tiempo y las inversiones necesarias para que desarrollos clave de grafeno lleguen al mercado de la defensa y se organizó un *workshop* específico junto con una reunión del Captech de Materiales de la EDA. También se llevaron a cabo una serie de entrevistas con expertos en defensa y en grafeno, cubriendo temas relacionados con la tecnología, el mercado, barreras y retos y, en particular, su relevancia para defensa.

La relevancia militar se validó en las entrevistas con expertos en defensa. La cuantificación de las respuestas obtenidas permitió destacar una serie de productos basados en grafeno relevantes para defensa. Estos productos se priorizaron en virtud del análisis previamente descrito y son los que se destacan a continuación:

- Drones: se beneficiarán de los desarrollos de grafeno para la obtención de estructuras más ligeras y en la mejora de muchos de sus componentes electrónicos, cámaras o sensores.
- Materiales de alta disipación. Las propiedades térmicas únicas del grafeno anticipan que se requerirán bajas inversiones y tiempos de desarrollo cortos para lograr aplicaciones reales dentro del mercado de la defensa.
- Recubrimientos Multifuncionales. Se espera poder disponer de ellos en un plazo no superior a 5 años. Sin embargo, es necesario realizar un análisis coste/beneficio y demostrar mejores prestaciones técnicas. Dado que estos recubrimientos están siendo ampliamente utilizados en sectores diferentes al de defensa, éste podrá seguir su evolución y adquirir aquellas tecnologías que le resulten de interés desde sectores civiles, fundamentalmente el aeroespacial.
- Recubrimientos para la reducción de la firma radar. La incorporación del grafeno permite la sintonización en un amplio espectro de frecuencias y la absorción selectiva con un balance coste/beneficio favorable frente a otras soluciones *stealth*.

³ "Aplicaciones de los nanocomposites basados en el grafeno como recubrimientos antirradar" (<https://publicaciones.defensa.gob.es/boletin-de-observacion-tecnologica-en-defensa-62-revistas-pdf.html>)

⁴ "Exploring Europe's capability requirements for 2035 and beyond" Aptado. 3.1

Tecnologías emergentes

- Materiales de protección balística ligeros. Se necesitan desarrollos adicionales antes de llegar a una posible comercialización, pero los resultados obtenidos hasta la fecha muestran mejoras muy significativas.
- Baterías flexibles aligeradas. La reducción de peso, la alta superficie específica y la flexibilidad del grafeno marcan una clara diferencia frente a los productos actuales.
- Dispositivos capaces de trabajar con baja iluminación. Nuevos fotodetectores se benefician de la propiedad única del grafeno de ser transparente en el infrarrojo. Las inversiones necesarias son altas al igual que la incertidumbre en cuanto al tiempo necesario para que estén completamente desarrollados cumpliendo las necesidades de defensa.
- Membranas para filtración de agua y aire. La superficie específica del grafeno aporta una cualidad importante para conseguir sistemas ligeros y transportables y membranas específicas para ciertas aplicaciones militares.
- Electrodo para supercondensadores. Está demostrado que el grafeno mejora la capacidad de aguantar cargas más altas que los sistemas comerciales. Se espera la entrada en el mercado de defensa en 4 años.



Fig. 3. Planta piloto para la fabricación de laminados. (Fuente: Tecnalia)

- Sensores NRBQ. Sensores y detectores en general son algunos de los campos en los que el grafeno puede aportar una gran ventaja respecto a las tecnologías actuales. Selectividad y sensibilidad son las principales características que se están abordando junto con los desarrollos en encapsulados ad-hoc. Se requieren altas inversiones y largos desarrollos.

Conclusiones

En general, las extraordinarias propiedades mostradas por el grafeno hacen de este material uno de los más interesantes para el desarrollo de

futuros sistemas militares que presenten mejores prestaciones. Por otra parte, es necesario el avance en el desarrollo de los materiales basados en grafeno para facilitar su aplicación, ya que su madurez tecnológica aún no es lo suficientemente alta. Además, en muchos casos es necesario reducir sus costes de producción para considerarlos como una solución alternativa a las actuales. Se espera que a corto plazo ya se puedan emplear materiales basados en grafeno en el ámbito de la defensa, aunque aún habrá que esperar para un empleo más extendido, tanto a nivel militar como civil.



Fig. 4. El grafeno puede mejorar los sistemas de protección pasiva. Se estudia el desarrollo de distintos materiales con grafeno que aporten distinto nivel de protección para aplicar en soluciones modulares para el combatiente. (Fuente: UPCT)