



GUSTAVO V. GUINEA TORTUERO

Catedrático de Ciencia de Materiales de la Universidad Politécnica de Madrid

Tela de Araña, un blindaje a prueba de bomba

Junto con un equipo de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos investiga los materiales biológicos nanoestructurados y sus aplicaciones

POR JOSÉ FERNÁNDEZ BEAUMONT

¿Puede haber algo aparentemente tan frágil como la tela de araña y que sin embargo sirva, por ejemplo, para proteger un recinto cerrado de la explosión de una bomba? El catedrático del Departamento de Ciencia de Materiales de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, Gustavo V. Guinea Tortuero (Madrid, 1962) está convencido de que esto es así, a juzgar por los resultados de las investigaciones que tienen entre manos tanto él como el equipo de Materiales Biológicos con el que trabaja en dicho centro.

“El hilo de araña es la mejor fibra que

se conoce, es un material magnífico que está fabricado con 20 aminoácidos esenciales y se encuentra en cualquier ser vivo. La naturaleza le ha dado una orden, una especie de pared de ladrillo y esa estructura le hace resistente”. Este es uno de los primeros argumentos en los que se apoya para proclamar las excelencias de la tela de araña como material biológico. Algo parecido podría decirse de las conchas de los mejillones o la resistencia de los vasos sanguíneos, otras dos líneas de investigación que tiene entre manos el grupo.

Los materiales biológicos ofrecen prestaciones actualmente inalcanzables para

los materiales artificiales. Por eso se están realizando enormes esfuerzos en todo el mundo por entender sus propiedades y obtener de los mecanismos que conducen a tales prestaciones ideas que inspiren el desarrollo de nuevos materiales y procesos (lo que podríamos entender por biomimética. Guinea Tortuero destaca en relación con la investigación sobre el hilo de araña los trabajos que se están llevando a cabo en Canadá (Nexia).

Escala nanométrica

Antes que nada conviene dejar constancia –utilizando las explicaciones del catedrático especialista en Ciencia de Materiales– de que los materiales biológicos están contruidos mediante una organización jerárquica de sus elementos constituyentes, de modo que a diferentes escalas de observación se aprecian diferentes estructuras, según explica el catedrático. “En los niveles más bajos de organización aparecen estructuras con escala nanométrica (un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro) que son muchas veces las responsables de las extraordinarias propiedades de estos materiales”, añade.

Siguiendo con las explicaciones la seda de araña es un ejemplo paradigmático de material biológico nanoestructurado, ya que sus excepcionales propiedades mecánicas provienen de la especial configuración de sus elementos constituyentes. Los hilos que la araña utiliza para la construcción de la telaraña bidimensional y como hilo de seguridad durante sus desplazamientos –producidos en la “glándula ampollácea mayor” y conocidos habitualmente por su acrónimo en inglés como hilos MAS– son hoy en día las fibras que requieren mayor energía para su rotura de entre todas las conocidas, naturales o artificiales.

Esto se debe, según comenta el profesor Guinea Tortuero, a la combinación de dos propiedades que no suelen aparecer simultáneamente en los materiales artificiales: una gran resistencia mecánica (fuerza necesaria para romper el hilo) comparable a las de las fibras más resistentes desarrolladas por el hombre como el acero o el “kevlar”, y una capacidad de deformación (incremento de la longitud del hilo respecto a su longitud inicial) excepcional, entre diez y cien veces superior a la de las otras fibras.

La posibilidad de fabricar fibras con

propiedades similares a los hilos MAS ha propiciado en todo el mundo la investigación sobre este material. En España al menos desde hace siete años se encuentra en esta misma línea de investigación el profesor Manuel Elices de la misma E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Recolección de hilo suficiente

La caracterización tanto de las propiedades mecánicas como de la microestructura de la seda MAS es una de las actividades principales del grupo de Materiales Biológicos del Departamento de Ciencia de Materiales de la citada Escuela. Durante este tiempo el departamento ha desarrollado toda una serie de procedimientos de trabajo adaptados a las particularidades del este hilo y relacionadas con su obtención, caracterización termo-higro-mecánica y análisis de su estructura.

¿Cuál es el objetivo inmediato de esta investigación? Guinea Tortuero lo explica en los siguientes términos: “Los procedimientos de obtención están dirigidos a

El hilo de araña es la mejor fibra que se conoce. Está fabricado con 20 aminoácidos esenciales.

proveer hilo con propiedades uniformes en cantidad suficiente para su observación y caracterización. En nuestro grupo se han desarrollado métodos para la recolección del hilo de seguridad segregado por la araña durante sus desplazamientos, y también a partir de los hilos utilizados en la construcción de la telaraña”.

Pero no todo son buenas noticias en este proceso investigador. El catedrático de Caminos señala que estos métodos no permiten la obtención de cantidades suficientes de hilo y además sus propiedades son poco reproducibles, como se ha mostrado repetidamente en las referencias en publicaciones sobre la materia.

“Consecuentemente, se ha puesto a punto un procedimiento de hilado forzoso que permite la extracción directa del hilo de una araña previamente inmovilizada. Este procedimiento permite la obtención de gran cantidad de material uniforme de un modo rutinario. La adaptación de una célula de carga con una carga máxima de

100 mN ha permitido la caracterización de las fuerzas implicadas en el proceso de hilado”, añade.

Para llevar a cabo investigaciones tan especializadas las técnicas de trabajo por fuerza deben ser muy refinadas. Según manifiesta Guinea Tortuero, la caracterización mecánica del hilo de araña se ha realizado a partir de ensayos de tracción simple en condiciones controladas de humedad y temperatura, ya que este material es sensible a ambos factores.

Microscopía electrónica de barrido

Además, el pequeño diámetro de los hilos –entre 2 y 3 μm , aproximadamente una décima parte de un cabello humano– exige el desarrollo de técnicas de gran sensibilidad para medir las pequeñas fuerzas involucradas –del orden de gramos– y procedimientos de manipulación que no alteren las propiedades del hilo. Por su pequeño tamaño, la medida de la sección transversal de las fibras se mide mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

Por lo tanto, determinar la estructura de la tela de araña no es sencillo. Lo explica Guinea Tortuero en los siguientes términos: “Con objeto de caracterizar la microestructura de la seda se emplean técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía de fuerza atómica (AFM). La microscopía electrónica de barrido ha permitido la caracterización de las superficies de fractura de hilos rotos en los ensayos de tracción, habiéndose observado una estructura característica formada por glóbulos con un tamaño aproximado de unas decenas de nanómetros. El estudio mediante AFM de cortes longitudinales y transversales también ha revelado la presencia de glóbulos de un tamaño comparable a los observados mediante el estudio fractográfico”.

La complejidad del tema se amplía, en opinión del investigador, si se tiene en cuenta que los estudios realizados han probado que los hilos producidos bajo condiciones nominalmente idénticas, por ejemplo, hilos recolectados de la misma telaraña o hilos producidos durante los desplazamientos de la araña, pueden tener propiedades mecánicas muy diferentes.

La posibilidad de variar las propiedades del hilo representa una ventaja evolutiva evidente, ya que permite a la araña la adaptación de las propiedades del material a sus necesidades inmediatas. En este

sentido, uno de los avances más significativos conseguido por el grupo investigador de referencia ha sido la demostración por vez primera de que las propiedades mecánicas de la seda se pueden controlar de manera reproducible aprovechando otra propiedad sorprendente del material: el fenómeno de la supercontracción.

La supercontracción consiste, según estos expertos, en una disminución de la longitud de la fibra superior al 50 % cuando se humedece por completo. En estado húmedo las cadenas moleculares están en su estado máximo de desalineación.

Obtención de fibra reproducible

En relación con este tema el trabajo desarrollado por el equipo de investigación en el que está Guinea Tortuero ha mostrado cómo a partir de este estado supercontraído, forzando el alineamiento controlado

El material obtenido no reúne aún todas las condiciones para su utilización comercial, pero se espera poder reproducir la resistencia mecánica del material natural.

de las cadenas moleculares mediante un proceso de tracción en vía húmeda más un secado posterior de las fibras que induce la formación de enlaces secundarios entre las cadenas, es posible obtener una fibra con propiedades mecánicas controlables y reproducibles que dependen únicamente del estado de alineamiento inducido.

Con este procedimiento se han podido reproducir a voluntad todo el rango de propiedades mecánicas que presentan los hilos producidos de modo natural, e incluso se han obtenido hilos con propiedades más allá de las observadas en la naturaleza.

Hay que tener en cuenta –añade el catedrático– que, aunque los elementos constitutivos básicos del hilo de araña son proteínas –polímeros lineales de elevado peso molecular– cuya composición se conoce razonablemente bien, son muy pocos los datos que se tienen sobre su organización a mayor escala, de la que dependen las propiedades desplegadas por la seda.

Resultados prácticos

Como en cualquier investigación la preocupación por los resultados prácticos está muy presente al menos en el ánimo de autoridades, empresarios y ciudadanos en general. El catedrático del Departamento de Ciencia de Materiales explica que el interés práctico de la seda de araña ha aumentado desde el año 2002, en el que se ha descrito por primera vez la producción de fibras inspiradas en los hilos de seda y producidos por Ingeniería Genética.

Desde entonces se han logrado obtener algunas de las proteínas constituyentes de la seda en la leche de cabras con células mamarias genéticamente modificadas con la inclusión de genes de araña. “Aunque el material obtenido aun no reúne todas las condiciones que permita su utilización comercial se espera poder reproducir la combinación de resistencia mecánica y deformación a rotura que caracteriza al material natural”.

El material resultante podría ser empleado, según comenta el experto, en dispositivos y estructuras que eventualmente puedan estar sometidos a impactos, como protección contra bombas de interiores de edificios, sistemas de protección de las bodegas de aeronaves, blindaje de vehículos militares o chalecos antibalas. También será de utilidad para finas suturas de uso en operaciones oculares, para micro y neurocirugía. En este contexto, la fabricación y caracterización de materiales compuestos reforzados con fibras de seda de araña constituye un nuevo y excitante terreno de investigación dentro del campo de los materiales biológicos nanoestructurados, asegura Guinea Tortuero. El problema es que no se pueden tener granjas de arañas como sí es posible tener granjas de gusanos de seda.

En definitiva: los resultados obtenidos por el Grupo de Materiales Biológicos suponen avances muy significativos en el esclarecimiento de dos grandes cuestiones planteadas en relación con las fibras de seda de araña: qué relación guarda la microestructura del material y sus excepcionales propiedades mecánicas, y cómo puede fabricarse una fibra artificial con propiedades mecánicas determinadas.

La respuesta completa a estas dos preguntas, previstas por el equipo investigador para un futuro no muy lejano tendrá un impacto definitivo en el desarrollo de nuevos materiales biomiméticos inspirados en la seda de araña. ■

Del hormigón al material biológico

Gustavo V. Guinea Tortuero, madrileño de 43 años, acabó la carrera de Ingeniero de Caminos en 1986 y se doctoró en esta especialidad en 1990 con un trabajo sobre la fractura del hormigón. De forma paralela cursó los estudios de Ciencias Físicas, especialidad en la que se licenció en 1988.

Ahora es catedrático del Departamento de Ciencias de Materiales de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid desde donde dirige un equipo interdisciplinar de investigación e imparte clases de Física de Materiales, Integridad Estructural y Propiedades Mecánicas: Comportamiento en Fractura.



Guinea Tortuero entiende que para afrontar una investigación con las características descritas se requiere también la aportación de físicos, ingenieros de materiales, ingenieros industriales, químicos y biólogos.

Asegura que la conexión de las dos especialidades de ingeniería y física le ha beneficiado en su esfuerzo por entender el secreto de los materiales. Afirma que comenzó a entusiasmarse por los materiales biológicos a partir del año 2000 sobre la base de la línea que había abierto desde hacía siete años el catedrático Manuel Elices.

En su departamento tienen abiertas además de la tela de araña, otras líneas de investigación sobre materiales superconductores destinados a aplicarse a la levitación magnética de trenes de alta velocidad que pueden alcanzar hasta 600 kilómetros por hora.

Dentro de la línea de materiales biológicos estudian también las estructuras de las conchas de los moluscos y las propiedades mecánicas de los vasos sanguíneos humanos que pueden tener aplicaciones clínicas inmediatas en cirugía cardiovascular.