

Los enigmas del carbono y la evolución de sus polimorfos hacia aplicaciones del futuro

Dra. Alejandra García García

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.





En los viejos tiempos, en las tierras de Oriente Medio, allá por el siglo XVII, se forjaban leyendas de acero y honor. En los talleres de los hábiles artesanos se creaban obras maestras que harían temblar al más valiente de los guerreros y cautivar al más noble de los reyes: las espadas de Damasco. Estas armas fueron famosas por su fuerza y su agudeza inigualables. En manos de un hábil guerrero podían atravesar corazas y cortar el aire con la gracia de una danza mortal, por lo que, a lo largo de los siglos, las espadas de Damasco se convirtieron en símbolos de poder y muchos pueblos intentaron replicarlas sin éxito alguno. ¿Qué secreto guardaba en sus entrañas esta poderosa arma?

No fue sino hasta el año 2006 que, bajo las lentes del microscopio electrónico de transmisión, analizaron una de estas espadas develando su mayor enigma, el alma de su estructura: nanotubos de carbono [1] (Figura 1). Es claro que los patrones damasquinos que hablaban de un arte perdido, de un conocimiento ancestral que se desvanecía con el paso de los años, pero cuyo legado perduraría para siempre en el acero, se formaban indirectamente por procesos termodinámicos que ni sus creadores podrían haber explicado en su momento, ya que los nanomateriales nos han acompañado desde muchos siglos atrás pero no nos habíamos percatado de ello.

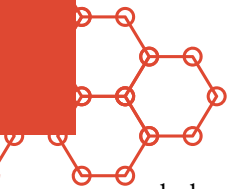
La historia anterior se entrelaza con mi historia particular, pues a lo largo de los años, me he apasionado por ver cómo lo invisible, lo que nuestros ojos no alcanzan a apreciar, puede ser capaz de cambiar la función de algo que ya existe; es como el condimento que hace falta agregar para que lo conocido se comporte de forma diferente, para

resaltar su sabor.

Mi formación es ingeniero en materiales, y cuando recién me gradué me preguntaban si mis objetos de estudio eran los materiales de construcción. La gente que me rodeaba no había escuchado prácticamente nada sobre esa carrera en el lejano año de 1998, tanto así que un día me dijeron medio en broma: “ahhh, eres albañil”, porque el término materiales sonaba a eso, a materiales para la construcción.

El campo de la ciencia de materiales abarca también el tipo de materiales para la construcción, no lo voy a negar. Pero lo que verdaderamente hace un especialista de la ciencia de los materiales es estudiar la materia desde su conformación atómica, de cualquier composición y futuro uso, no solo para la fabricación de inmuebles. Mi trabajo se enfoca más en lo que el físico Richard Feynman predijo en una de sus conferencias por el año de 1959, donde lanzó la posibilidad de manipular la materia átomo por átomo. Sin embargo, las herramientas de la época no permitían ni siquiera comprobar que podíamos ser capaces de ver estas diminutas estructuras, mucho menos de manipularlas. Pero la posibilidad se encontraba cada vez más cerca, y fue con el nacimiento de los primeros microscopios electrónicos que pudimos visualizar cómo estaba conformada la materia.

El microscopio electrónico fue una ventana hacia lo invisible, una herramienta capaz de revelar los secretos más profundos del universo nanoscópico. Utiliza haces de partículas subatómicas en lugar de luz visible para iluminar la muestra. Los electrones al atravesarla e interactuar con la estructura interna



de las moléculas y los átomos se convierten en los ojos del investigador. Dependiendo de la resolución del microscopio podremos ver puntos nítidos en la imagen, acomodados como soldaditos de forma ordenada y periódica, revelando la posición de cada átomo en un material, y el acomodo asociado a él.

A partir de ese momento, la esperanza y euforia por saber más se disparó. Después de los avances en microscopía se desarrollaron otras potentes herramientas de visualización y manipulación, como el microscopio de fuerza atómica y de efecto túnel, mejor conocidos en el ámbito académico y de la investigación como AFM y STM. Los nanomateriales nacieron con la nanociencia, que es un área dedicada a la manipulación de la materia a escala atómica, como lo predijo Feynman. Dos de los nanomateriales que dieron un impulso gigante a la nanociencia están compuestos por carbono, elemento número 14 de la tabla periódica y uno de los más abundantes en nuestro planeta, siendo esencial para la vida. El carbono revela su rostro en múltiples formas desde el suave abrazo del grafito hasta la inclemente dureza del diamante. El primero es el material más suave de los polimorfos de carbono, y que todos conocemos desde nuestros primeros días escolares. El grafito ha dejado huella en nuestros cuadernos desde que comenzamos a hacer nuestros primeros dibujos. Su forma suave permite que las láminas que lo conforman queden impregnadas en el papel dando forma a nuestra imaginación. Por el contrario, el material más duro, el diamante, es aquel tan anhelado en los anillos de compromiso o en herramientas de corte, y la única diferencia entre el grafito y el diamante es el acomodo de sus átomos, porque los dos están formados únicamente por átomos de carbono, de los

elementos mas enigmáticos de la tabla periódica.

Uno de los materiales nanoestructurados invisibles que llamó primero mi atención en mis inicios de la carrera fueron los nanotubos de carbono, diseñados mucho tiempo después de los intentos por replicar las legendarias espadas de Damasco.

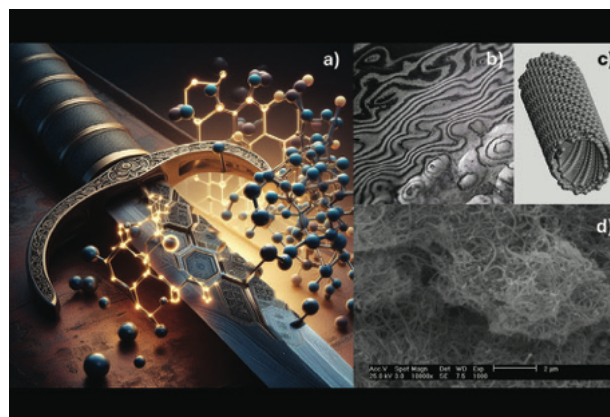


Figura 1. a) Esquema que muestra una espada con la representación de patrones damasquinos simulando su composición por átomos de carbono; b) patrones damasquinos encontrados en las espadas legendarias de Damasco; c) representación de un nanotubo de carbono; d) nanotubos de carbono enredados en forma de spaguetti, después de su síntesis por métodos químicos con gas metano a 700 °C.

En los años 90, Sumio Iijima, mientras examinaba muestras de carbono bajo el microscopio electrónico de transmisión, quedó fascinado con lo que vio. Entre las imágenes pixeladas y borrosas detectó una estructura inusual: largas cadenas de átomos de carbono dispuestos en una formación ordenada y perfecta. Aquellas cadenas de átomos de carbono no eran simples estructuras lineales, como él esperaba; eran tubos huecos, cilindros de diámetro nanométrico de carbono puro, con propiedades mecánicas y eléctricas extraordinarias (Figura 1c). Aunque Iijima dio a conocer los nanotubos, Morinobu Endo los había descubierto 20 años antes, pero no los bautizó con el nombre apropiado para lanzarlos a la fama. Los nanotubos de carbono a




partir de su presentación al público por lijiña fueron estudiados y probados en diversos campos. Constituyeron el ingrediente mágico que mejoró, sobre todo, las propiedades mecánicas de muchos plásticos o polímeros como se les conoce técnicamente. Las mejoras en los métodos de obtención fueron el centro de estudio de muchos laboratorios alrededor del mundo, incluso se lanzó una convocatoria para premiar a aquel laboratorio que obtuviera el nanotubo de carbono más largo. Los métodos de síntesis propuestos fueron diversos, desde aquellos que aplicaban temperaturas tan altas como 1700 °C, hasta aquellos que lo hacían a partir de materia orgánica o líquidos a temperaturas medianas (600 °C). Actualmente existen técnicas que han sido escaladas para la producción a escala de este nanomaterial [2]. Los nanotubos fueron el centro de atención hasta el 2010, cuando otorgaron

el premio Nobel a otra nanoestructura del carbono, el grafeno, quien desvió su atención y los sacó de los reflectores. Este material se convirtió en la nueva joya del aparador.

El grafeno es una lámina con el grosor de un solo átomo y tan fuerte como 200 veces el acero, y representa la promesa de avances revolucionarios que transformarán el mundo que conocemos. Los laboratorios alrededor del mundo trabajamos incansables por desbloquear el potencial de este nanomaterial para crear ventanas transparentes capaces de actuar como una celda solar, dando energía a la jungla edificada que hoy nos rodea en las grandes urbes, fabricando parches ultrafinos y flexibles para autodiagnóstico de diversas enfermedades como la tan conocida diabetes, en ingeniería de tejidos para crear implantes



Figura 2. Futuras aplicaciones de dos de las nanoestructuras de carbono más representativas en el campo de la nanotecnología, los nanotubos de carbono y el grafeno.



promoviendo regeneración y curando heridas, repeliendo el colesterol de las arterias.

Pero el potencial del grafeno no se limita solo a la medicina o energía; los celulares como hoy los conocemos serán chatarra junto a la tecnología del futuro, donde abundarán las pantallas transparentes y flexibles, con baterías inagotables y con la ligereza de una pluma. Y lo más emocionante es que apenas hemos arañado la superficie de lo que el grafeno, también conocido como material bidimensional, puede lograr. Con cada nueva investigación, con cada nuevo descubrimiento, hay un reto y se revelan nuevas posibilidades, nuevos sueños por alcanzar. Solo el tiempo dirá, pero una cosa estoy segura, y es que, en el mundo de los nanomateriales de carbono el único límite es la imaginación. Así como los herreros de antaño fusionaron sus conocimientos con los materiales disponibles para

forjar un legado duradero, hoy encontramos un paralelo en la alquimia moderna de la ciencia. El grafeno y los nanotubos de carbono nos desafían a abrazar la sabiduría del pasado mientras miramos hacia las aplicaciones del futuro (Figura 2). Como las espadas de Damasco, que son el resultado de la maestría humana combinada con los recursos más avanzados de la época. Y en esta intersección entre pasado y presente, vemos cómo la esencia de la innovación sigue siendo la misma: la búsqueda incansable por mejorar lo existente y el deseo de trascender los límites establecidos. Que la historia de las espadas de Damasco nos recuerde que, aunque nuestros materiales y métodos cambien, la esencia del progreso humano reside en la fusión entre el conocimiento y la comprensión del mundo que nos rodea.

Referencias:

- [1] Reibold, M., Paufler, P., Levin, A. et al. Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature* 444, 286 (2006). <https://doi.org/10.1038/444286a>
- [2] Prasek, J., Drbohlavova, J., Chomoucka, J. et al. Methods for carbon nanotubes synthesis—review. *J. Mater. Chem.* 21, 15872-15884 (2011). <https://doi.org/10.1039/C1JM12254A>