

CARBONO Y C-MEMS: MATERIALES Y TECNOLOGÍAS PARA DISPOSITIVOS MÉDICOS AVANZADOS DR. OSCAR PILLONI CHOREÑO

El desarrollo tecnológico es una constante innegable de la sociedad actual. Parece que con cada día que pasa tenemos un nuevo desarrollo, ya sea desde teléfonos inteligentes, automóviles eléctricos o increíbles redes de satélites que llevan internet a cada rincón del planeta. Sin embargo, enfrentamos varias problemáticas complejas, como la salud pública, para las cuales parece que no importa la cantidad de trabajo que les dediquemos, no logramos resolver.

Esto no es debido a falta de interés por parte de investigadores o a falta de inversión en proyectos que busquen ayudar a lograr un nivel mejor de salud pública. No se ha logrado resolver completamente pues es simplemente un problema tan complicado con tantas variaciones como personas vivas tenemos en el mundo.

Esto parece contradictorio. ¿Cómo, teniendo tantos avances tecnológicos, no hemos logrado explotar esa misma tecnología para mejorar la salud pública? La verdad, es que sí lo hemos hecho. Por mencionar uno, los marcapasos son un ejemplo clásico de una tecnología que se ha refinado y mejorado a lo largo de los años para mejorar la salud de los pacientes. Estos dispositivos implantables utilizan la electricidad para estimular el corazón y mantener un ritmo cardíaco



Figura 1. Marcapasos estándar en la mano de un cirujano. Nótese el tamaño pequeño de la unidad central con cubierta de titanio y las largas terminales, aisladas con un polímero, que permiten la conexión eléctrica al corazón (Peter Dazeley / Getty Images)

saludable. Las versiones modernas de estos dispositivos son cada vez más pequeñas y eficientes, algunas incluso, pueden monitorear el ritmo cardíaco del paciente para ajustar su funcionamiento según sea necesario, lo que demuestra la evolución constante de la tecnología médica.

Para habilitar la fabricación de esta clase de dispositivos, el reto consiste en desarrollar materiales que no sólo sean fuertes y resilientes, capaces de soportar los esfuerzos y la tensión constantes, sino que también sean biocompatibles. Es decir, deben ser capaces de interactuar con los sistemas biológicos sin causar reacciones adversas. La biocompatibilidad es un aspecto clave a considerar, pues no cualquier material resistente y duradero es seguro para usar con los seres vivos.

Una posible solución a este desafío proviene de una fuente sorprendentemente familiar: el carbono. Los Sistemas Micro Electro Mecánicos basados en Carbono (C-MEMS) prometen cambiar radicalmente la forma en que desarrollamos y utilizamos nuestras herramientas y dispositivos. Estos sistemas se conforman de diminutas estructuras que integran componentes mecánicos y electrónicos en un solo dispositivo, permitiendo un alto grado de precisión y eficiencia.

El carbono es un elemento químico abundante y versátil, capaz de formar una variedad de estructuras conocidas como alótropos. Éstos incluyen el grafito, el diamante, los fullerenos y los nanotubos de carbono, cada uno con propiedades únicas y aplicaciones potenciales en el ámbito de los C-MEMS.

Los alótropos del carbono exhiben propiedades mecánicas asombrosas. Tomemos, por ejemplo, los nanotubos de carbono que son notablemente fuertes y ligeros. Estos poseen una resistencia a la tracción de hasta 63 gigapascales (GPa), que es más de cincuenta veces la resistencia a la tracción del acero estructural, que es de aproximadamente 1.2 GPa.

Por otro lado, el diamante, un alótropo diferente del carbono, es famoso por ser uno de los materiales más duros conocidos. En la escala de Mohs, que mide la dureza de los minerales, el diamante se sitúa en el máximo con un valor de 10. Esto significa que puede rayar cualquier otro mineral y que es extremadamente resistente al rayado. Estas propiedades hacen que los

alótropos del carbono sean materiales de interés en numerosas aplicaciones industriales y científicas.

Pero, ¿qué pasa con la biocompatibilidad? Es aquí donde los alótropos del carbono también pueden destacar. Por ejemplo, el grafito, una forma natural y estable del carbono, ha demostrado ser biocompatible y seguro para ser usado en la fabricación de dispositivos médicos. Sin embargo, otros alótropos del carbono, como los fullerenos, el grafeno y los nanotubos de carbono, son sintetizados artificialmente, lo que genera incertidumbre en los efectos que puedan tener al ser colocados en contacto con sistemas biológicos.

Sin perder de vista las características positivas que beneficiarían el desarrollo de nuevas herramientas médicas, no podemos excluir a estos materiales basados de carbono de las rigurosas metodologías de caracterización que comprueben o refuten su segura aplicabilidad en aplicaciones biológicas.

En el área de BioMEMS del IINGEN nos hemos dedicado a la tarea de caracterizar las propiedades mecánicas, morfológicas y de biocompatibilidad, de micro estructuras de carbono fabricadas en atmosferas de vacío, con el objetivo de implementarlas en un futuro en la generación de dispositivos médicos.

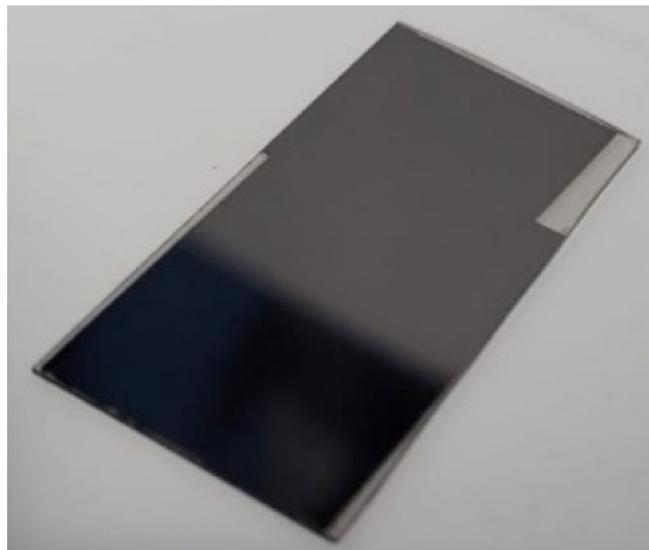


Figura 2. Película delgada de carbono fabricada sobre un sustrato transparente. En ella se aprecian regiones de sustrato expuesto donde no se recubrió con carbono. La región más oscura en la película es resultado de una sombra sobre el material causada por la iluminación (Víctor H. García Arroyo / IINGEN-UNAM)

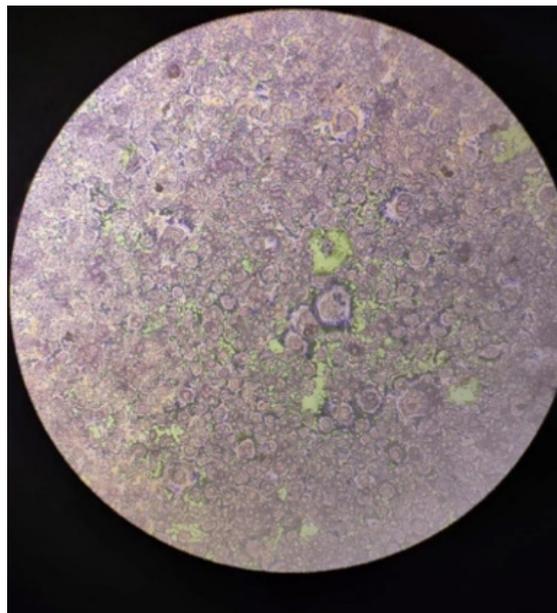
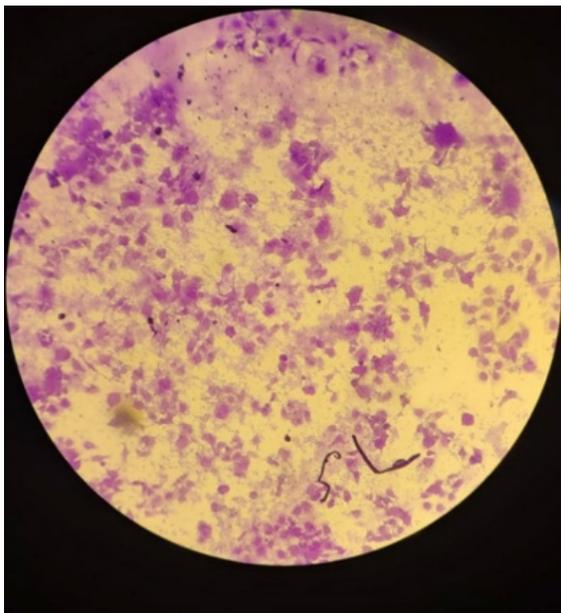


Figura 3. Micrografías de células HaCaT cultivadas sobre un sustrato sin estructuras de carbono (izquierda) y sobre un sustrato con estructuras de carbono (derecha). Experimento desarrollado para prueba de citotoxicidad, una de las múltiples pruebas necesarias para determinar la biocompatibilidad de un material. Nótese que en ambos casos hay una cantidad similar de células cultivadas (estructuras moradas) lo que indica que el material no es citotóxico (Aelohim E. Torres Frias, Daniela Mena Lastiri / IINGEN-UNAM)

A pesar del desafío que conlleva caracterizar cabalmente un material e implementarlo en dispositivos útiles, el potencial de los C-MEMS es enorme. Los alótropos del carbono proporcionan la posibilidad de combinar resistencia, resiliencia y biocompatibilidad en un solo material, abriendo la puerta a innovaciones que podrían revolucionar la forma en que interactuamos con el mundo biológico. |

Referencias

Annabel Braem, Nur Hidayatul Nazirah Kamarudin, Nitu Bhaskar, Zoya Hadzhieva, Andrea Mele, Jérémy Soulié, Denver P. Linklater, Linda Bonilla-Gameros, Aldo R. Boccaccini, Ipsita Roy, Christophe Drouet, Elena P. Ivanova, Diego Mantovani y Bikramjit Basu (2023). Biomaterial strategies to combat implant infections: new perspectives to old challenges, *International Materials Reviews*, DOI: 10.1080/09506608.2023.2193784.

Yu, M.-F. et al. (2000). Strength and Breaking Mechanism of Multiwalled Carbon Nanotubes Under Tensile Load. *Science*, 287(5453), 637–640. doi:10.1126/science.287.5453.637.

García Arroyo, Víctor Hugo (2022). Caracterización de las propiedades mecánicas de microestructuras de carbono pirolítico obtenidas mediante la pirólisis de resinas fotosensibles, IINGEN-UNAM.

Field, J. E. (1979). *The Properties of Natural and Synthetic Diamond*. Academic Press. Ozlem Erol, Idil Uyan, Meryem Hatip, Canelif Yilmaz, Ayse B. Tekinay, Mustafa O. Guler, Recent advances in bioactive 1D and 2D carbon nanomaterials for biomedical applications, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.nano.2017.03.021>.

Colaboradores:

Dra. Eva Ramón Gallegos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.

Dra. Argelia Almaguer Flores, Facultad de Odontología, UNAM.

Dra. Gina Prado Prone, Facultad de Odontología, UNAM.

Dra. Laura Oropeza Ramos, Facultad de Ingeniería, UNAM.