

Nanotecnología II.

Nanotubos de carbono

Andoni Garritz Ruiz

Los nanotubos de carbono fueron preparados por primera vez por Sumio Iijima (1991), un microscopista de la corporación electrónica japonesa NEC, quien durante muchos años había estudiado la estructura a escala atómica de las fibras de carbón. Cuando en 1990 investigadores de Heidelberg, en Alemania, y Tucson, en Estados Unidos, informaron de un método para obtener grandes cantidades del buckminsterfullereno o C_{60} , Iijima sintió que tenían sentido sus investigaciones durante una década. Echó a correr un experimento para verificar la **formación** de esa **forma** del carbono, descubierta por Harry Kroto —en la Universidad de Sussex, en Inglaterra— y por Richard Smaley —en la Universidad de Texas, en Estados Unidos—, en 1985. Así, pasando chispas eléctricas a través de dos barras de grafito, Iijima las vaporizó, obteniendo carbono condensado en una masa tipo hollín, donde esperaba encontrar el C_{60} (Ball, 1999).

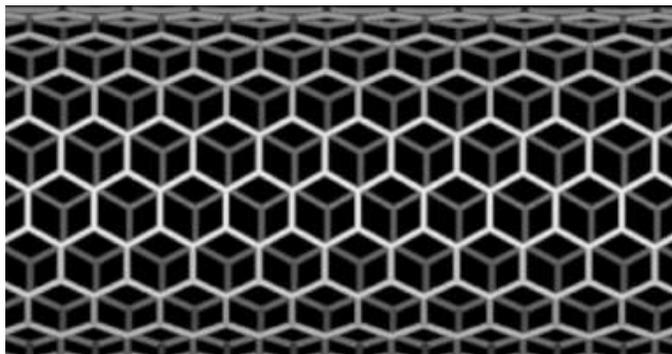


Figura 1. Nanotubo con tapa. Tomada de la "Image Gallery" del grupo de Smaley, en <http://cnst.rice.edu/pics.html>.

Lo que halló cuando colocó al microscopio ese hollín no fue el C_{60} , sino pequeños tubos de carbono, de unos cuantos nanómetros de ancho. Estos nanotubos estaban huecos, pero tenían muchas capas: tubos dentro de tubos, como muñecas rusas anidadas unas en otras, con sus partes finales selladas con tapas cónicas.

En cuanto Iijima informó de sus resultados, fueron muchos los investigadores que voltearon sus ojos de los fullerenos a los nanotubos, incluido Smaley, quien luego recibiría el premio Nobel en 1996, junto con Kroto y Robert Curl, por el descubrimiento de los fullerenos. Los teóricos

¹ Capacidad de recuperación, elasticidad. Los materiales resilientes (la palabra no existe en español, en todo caso "elásticos") pueden ser doblados a ángulos grandes y vuelven a su posición original sin sufrir daño alguno.

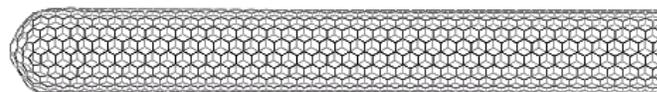


Figura 2. Nanotubo de carbono de pared sencilla. Tomada de la "Image Gallery" del grupo de Smaley, en <http://cnst.rice.edu/pics.html>.

predecían que las propiedades de los nanotubos serían mucho más interesantes que las de los fullerenos. Entre otras cosas, ellos deberían ser la más fuerte de las fibras sintéticas. En las paredes de los nanotubos los átomos de carbono están arreglados justo como en el grafito, lo que les podría dar propiedades de buena conducción eléctrica y una "resiliencia"¹ sobresaliente. Esto sugería la posibilidad de emplearlos como cables de circuitos eléctricos, o aún más, que los tubos actuaran como combinaciones de conductores y semiconductores que los pudieran hacer funcionar como transistores.

Dos años después de su descubrimiento el propio Iijima, así como Bethune *et al.*, (1993) de IBM, obtuvieron los primeros nanotubos de pared sencilla (ver figuras 1 y 2), gracias a la catálisis proporcionada por el cobalto metálico. Las propiedades de esos nanotubos fueron mucho más simples de predecir.

El último descubrimiento de nanotubos de pared sencilla fue el de Wang y colaboradores (2000), quienes obtuvieron en una zeolita nanotubos de 0.4 nm de ancho, los nanotubos más delgados posibles.

Los nanotubos de carbono pueden revolucionar la electrónica. El chip de silicio puede que algún día ceda el paso al chip de carbón, con sus circuitos nanoelectrónicos elaborados de carbón puro. Para la ingeniería en computación la velocidad y el poder los dan la capacidad de poder hacer todo más pequeño cada vez. La escala de la microelectrónica se ha reducido a la mitad cada dieciocho meses desde que las computadoras fueron inventadas y ahora es posible colocar en un chip de veinte centímetros de diámetro más

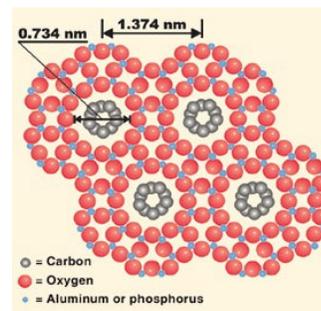


Figura 3. Esquema de los nanotubos formados por Wang y colaboradores en los canales de una zeolita. Los anillos más pequeños son los nanotubos de carbono, con un ancho de 0.4 nm. Tomada de *Nature*, en la red.

componentes que habitantes hay en el planeta Tierra. Aún hoy, el cepillo del ingeniero electrónico es muy ancho comparado con los nanotubos. Las técnicas actuales de microelectrónica pueden lograr objetos no más pequeños que 200 nanómetros. Reducir esto a la mitad costará miles de millones a la industria. Lograr la miniaturización empleando nanotubos llevará la reducción a una centésima parte!

La característica de que los nanotubos actúen como alambres fue primero planteada por Tans *et al.*, (1997) en Holanda. Ellos encontraron que dado que los cables eran tan delgados, los electrones viajarían a través de ellos uno a uno. Al aumentar la diferencia de potencial incrementa la corriente abruptamente en lugar de suavemente, como ocurre en los metales normales, pues los electrones que están “en el alambre” evitan la incorporación de otros hasta que sean empujados lo suficientemente fuerte. Este efecto de bloqueo es característico de los dispositivos electrónicos en la nanoescala. En 1998, el mismo grupo de investigación, comandado por Dekker, logró algo más dramático: un transistor que empleaba un nanotubo como uno de sus componentes. A pesar de su pequeño tamaño, el transistor funcionó exactamente como aquellos usados en circuitos de silicio. Muy recientemente, el grupo de Dekker (Yao, 1999) reportó que al igual que una rosca en una manguera perturba el flujo, un nanotubo enroscado muestra también un flujo electrónico perturbado, que en algunos casos consiste de un flujo en una sola dirección, por ejemplo.

Otra característica de los nanotubos de carbono es que cuando se encuentran electrificados, concentran el campo eléctrico en sus extremos y emiten una enorme cantidad de electrones, lo que ha hecho posible su utilización en pantallas de imágenes. La tabla enseña algunas de las propiedades sorprendentes de los nanotubos, y se muestra su comparación con algunos otros materiales.

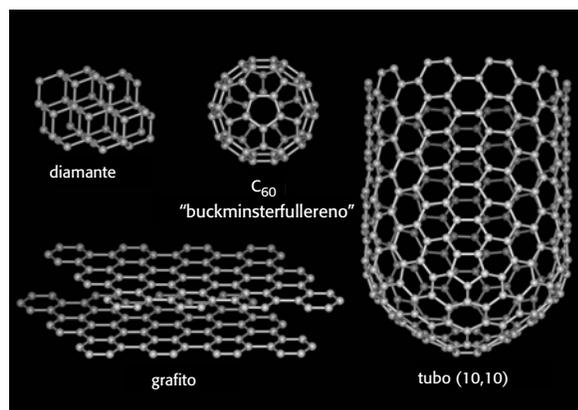


Figura 4. Desde 1985 se han sumado el fullereno y los nanotubos de carbono a los dos alótropos clásicos del carbono, el diamante y el grafito.

Tabla. Propiedades de los nanotubos de carbono (Tomada de Collins y Avouris, 2000)

Propiedad	Nanotubos de pared sencilla	Por comparación
Tamaño	0.6 a 1.8 nanómetros de diámetro	La litografía de haz electrónico puede crear líneas de 50 nm de ancho.
Densidad	1.33 a 1.40 g/cm ³	El aluminio tiene una densidad de 2.7 g/cm ³
Fuerza tensil	45 mil millones de pascales	Las aleaciones de acero de alta resistencia se rompen a alrededor de 2 mil millones de pascales.
Resiliencia	Pueden doblarse a grandes ángulos y vuelven a su estado original sin daño.	Los metales y las fibras de carbón se fracturan ante similares esfuerzos.
Capacidad conductora	Estimada en mil millones de amperes por centímetro cuadrado	Los alambres de cobre se queman al conducir un millón de amperes por centímetro cuadrado.
Emisión de campo	Pueden activar fósforos con 1 a 3 voltios si los electrodos están espaciados una micra	Las puntas de molibdeno requieren campos de 50 a 100 voltios/m y tienen tiempos de vida muy limitados
Transmisión de calor	Se predice que es tan alta como 6,000 vatios por metro por kelvin, a temperatura ambiente.	El diamante casi puro transmite 3,320 W/mK
Estabilidad térmica	Estable aún a 2,800 grados Celsius en el vacío, y 750 °C en aire	Los alambres metálicos en microchips funden entre 600 y 1000°C

Todavía falta un largo camino antes que un humano se preocupe en manufacturar un chip utilizando nanotubos de carbono. Pero la demanda de circuitos cada vez menores nos pondrá quizá pronto en esa posibilidad de nanoalambrear nuestro futuro. ▣

Referencias

- Ball, P., Technology feature: focus on carbon nanotubes, *Nature*, 26 de noviembre de 1999, consultado en la red.
- Bethune, D.S., Kiang, C.H., DeVries, M.S., Gorman, G., Savoy, R. and Beyers, R., Cobalt-catalyzed growth of carbon nanotubes with single atomic layer walls, *Nature* **363**, 605 (1993).
- Collins, P.G. and Avouris, P. Nanotubes for electronics, *Scientific American* **283** (6), 38-45 (diciembre 2000).
- Iijima, S., Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature* **354**, 56 (1991).
- Tans, S.J., Devoret, M.H., Dai, H., Thess, A., Smalley, R.E., Dresselhaus, G. and Dekker, C., *Nature*, **386**, 474 (1997).
- Yao, Z., Postma, H.W.C.H., Balents, L. and Dekker, C., Carbon nanotube intramolecular junctions, *Nature* **402**, 273 (1999).
- Wang, N., Z.K. Tang, G.D. Li and J.S. Chen, Materials science: Single-walled 4Å carbon nanotube arrays, *Nature* **408**, 50-51 (2000).