



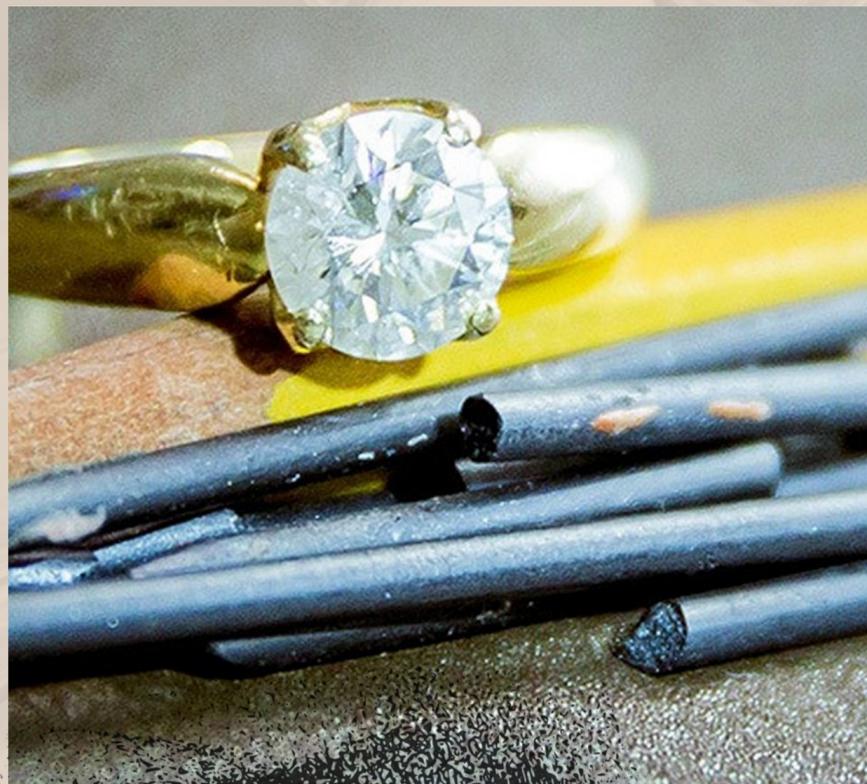
# El carbono no es un mal premio



GABRIELA PÉREZ AGUIRRE\*

**M**uchos son los países, costumbres y tradiciones en los que uno de los elementos importantes en las fechas navideñas y día de Reyes es un trocito de carbón, el cual es un símbolo con el que se castiga la mala conducta de algunos niños que no se han portado bien a lo largo del año.

Más allá de discutir esas costumbres, podríamos celebrar el nuevo año estudiando los materiales basados en carbono y concluir si merece ser símbolo de castigo. Para comenzar, nada mejor que un homenaje a quien dedicó toda su vida a ellos; Mildred Dresselhaus, también conocida como la "Reina del carbono". Además de ser la primera mujer en ser nombrada catedrática por el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) en 1968, también fue la primera catedrática emérita de Física e Ingeniería eléctrica de la institución. En una época en la que las mujeres suponían el 2% del total de estudiantes de física, sus investigaciones le valieron numerosos premios, entre otros, la medalla de Honor del IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) en 2015, la primera mujer en la historia en recibirla; también fue la primera persona en recibir el premio Kavli en solitario en 2012, y sus estudios sentaron las bases para dos investigaciones galardonadas con sendos premios Nobel (sobre fullerenos en 1996 y nanotubos de carbón en 2010).



Mildred S. Dresselhaus (donde S. significa Spiewak, su apellido de soltera) nació y se crió en la ciudad de Nueva York, hija de padres judíos polacos que emigraron de Europa. Solo una determinación férrea, habilidades excepcionales y una pizca de suerte le permitieron lograr una excelente educación dirigida inicialmente a la profesión docente. Invitada a estudiar física por un futuro premio Nobel, acabó doctorándose en física en Chicago donde estudió, entre otros, con Enrico Fermi y donde conoció al físico y su futuro marido, Gene Dresselhaus.

Desde su llegada al MIT, Mildred dedicó gran parte de su carrera al estudio del carbono. El primer resultado importante, a saber, la explicación de la estructura electrónica del grafito y su superficie de Fermi, la llevó a explorar los productos de intercalación del grafito, allanando el camino para la física de materiales de baja dimensión. Posteriormente comenzó a estudiar (a menudo en colaboración con su esposo) las fibras de carbono, sin las cuales la exploración espacial no habría tenido una secuela tan exitosa, y el carbono líquido. A partir de aquí el paso al estudio de las nuevas formas de carbono que se estaban descubriendo fue natural, anticipándose a la estructura electrónica de los nanotubos de carbono incluso antes de que hubieran sido preparados.

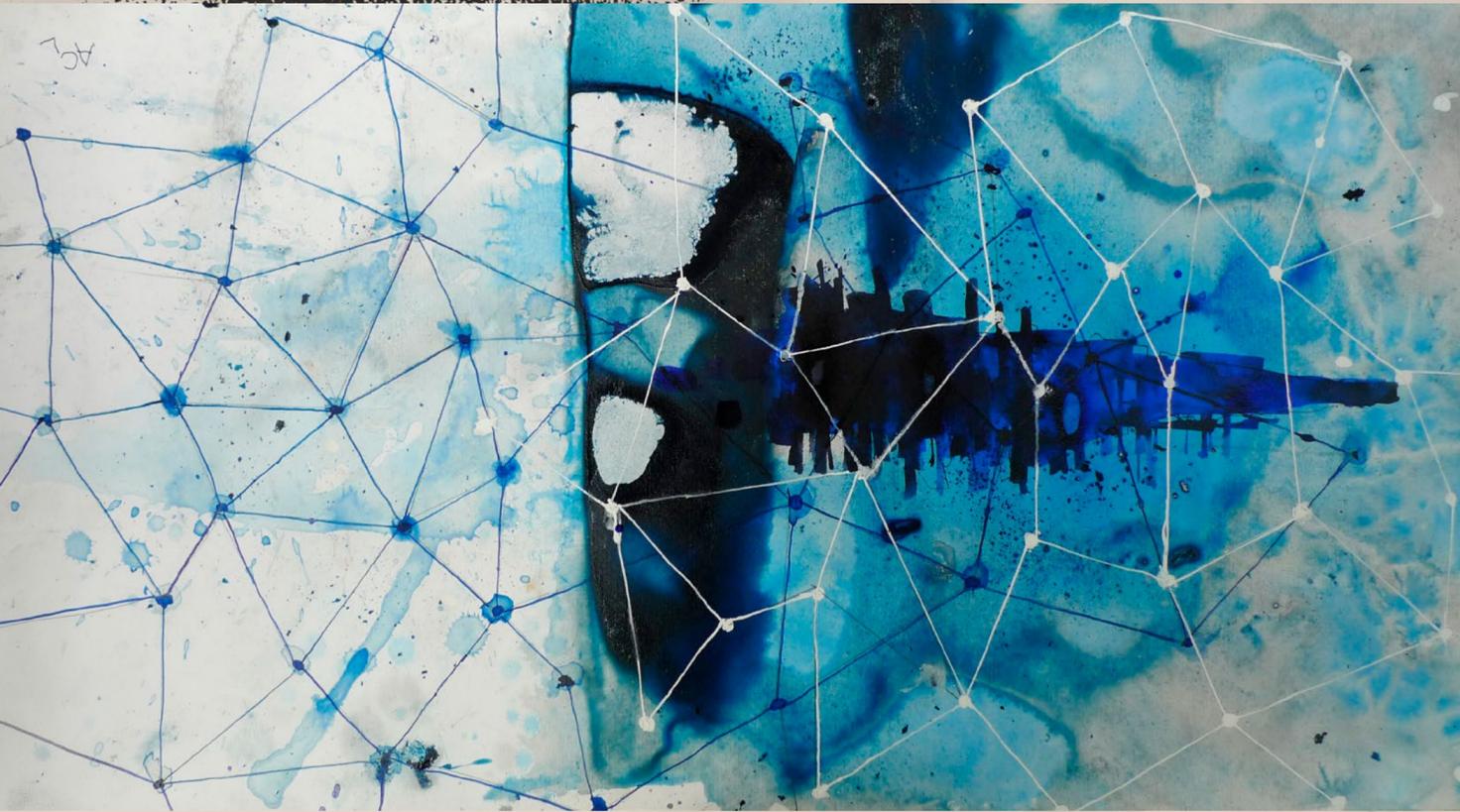
Sus estudios y sus colaboraciones sobre los efectos del confinamiento cuántico en semimetales y, más en general, en conductores de baja dimensión abrieron nuevos escenarios de estudio en el campo de los materiales electrónicos. Además de su indudable calidad como científica, Mildred (Millie) Dresselhaus fue cada vez más conocida en todo Estados Unidos por defender el papel de la mujer en la ciencia y la tecnología. Desde 1971 (en pleno apogeo del feminismo radical) organizó el primer Foro de Mujeres en el MIT para promover este papel en el campo de la física y la ingeniería, un campo tradicionalmente masculino.



Figuras de Lego representando a Millie y cuatro fullerenos  $C_{60}$ .

Muchos años después, la situación ciertamente ha cambiado, pero aún queda mucho por hacer. Unas dos semanas antes de su desaparición, *General Electric* emitió un breve video de 1 minuto titulado "¿Qué pasaría si Millie Dresselhaus, una mujer científica, se convirtiera en una celebridad?" En él imaginamos un futuro en el que las niñas reciben su nombre al nacer, se visten como ella, juegan con *Millie Dolls*, compiten para hacerse un selfie con ella (la Millie real). Ahora que la "reina" ha desaparecido, pues falleció en 2017, su legado continúa y alguien más tendrá que tomar el relevo de la emancipación de la mujer en la ciencia.

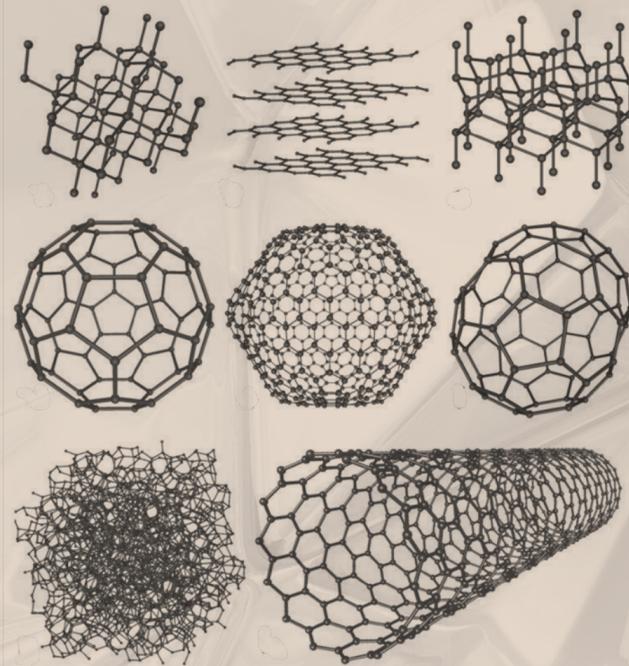




© ACL

Para recordarla, podemos repasar los materiales que ella estudió toda su vida, los materiales basados en carbono. De hecho, el nombre adecuado es alótropos de carbono. Un alótropo es un material hecho exclusivamente de un solo elemento de la tabla periódica, pero con estructura cristalográfica diferente; dentro del mismo estado físico. Así pues, existen muchos alótropos del carbono. Los más conocidos son el grafito, el diamante, el fullereno, los nanotubos de carbono y el grafeno. Las estructuras de estos alótropos son las que definen sus propiedades. El grafito es un apilamiento de láminas con estructura hexagonal, como un panal de abejas. Cada uno de los vértices de esa estructura hexagonal es un átomo de carbono. La unión de estas láminas entre sí, por fuerzas de Van der Waals, es muy débil. El ejemplo más conocido son las minas de los lápices. De hecho, podemos escribir gracias a esa débil interacción entre capas, que nos permite ir dejando restos de grafito en el papel. Sabemos que es muy blando y buen conductor de la electricidad, salvo en su eje  $i$ , es decir, entre capas. El diamante es también una estructura de átomos de carbono, pero en una red cúbica, es decir, forma tetraedros. Es aislante, muy duro y muy preciado. Su aplicación más conocida son las joyas y como corte de otros materiales más blandos. A pesar de ser considerado un aislante, se ha podido dopar (agregar impurezas) y se usa como semiconductor en chips.

Los fullerenos son compuestos hechos de hexágonos y pentágonos de carbono. Y hay de diferente número de carbonos, 20, 60, etc. El más conocido es el de 60, que parece un balón de fútbol. El Fullereno es el eterno olvidado; no se le da la importancia que realmente tiene. Se le descubrió haciendo incidir un haz de láser sobre una pieza de grafito y, posteriormente, se descubrió también en el hollín de una vela. El fullereno es muy interesante porque bajo determinadas condiciones puede actuar como conductor, como semiconductor o como súper conductor. Una de sus aplicaciones más relevantes es la de ser semiconductor para placas fotovoltaicas.



A los nanotubos de carbono se les considera de una dimensión, ya que son muy largos, pero el grosor y la altura están en el rango de los nanómetros. Son como tubos de mallas de carbono, su principal aplicación es el revestimiento de electrodos, mezcla con polímeros, y para aumentar la resistencia y conductividad de los materiales. Ahora cada vez más se están usando en tejidos inteligentes.

Y por fin llegamos al grafeno. No es sino hasta el 2004 que Andre Geim y Konstantin Novoselov consiguen materializarlo. Parten de grafito pirolítico de una pureza muy elevada, y se dedican a "deshojar", laminar y separar esas capas de grafito. ¡Y sí, lo hacen con cinta adhesiva! En su artículo *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*, publicado en *Science*, describen su proceso. La primera vez se llevan muchas capas, repiten el proceso muchas veces y cada vez van quedando menos sobre la cinta adhesiva, hasta que al final consiguen una monocapa de grafeno, del grosor de un átomo. Al método lo bautizan como "The Scotch-tape method", tal cual, el método de la cinta adhesiva.

El pedacito que les queda adherido es tan pequeño que lo tienen que observar al microscopio. Verifican que es monocapa y comienzan a hacerle de todo para comprobar sus propiedades. Nace aquí el grafeno, nuevo alótropo del carbono, una monocapa del grosor de un átomo con una red hexagonal, como un panal de abejas y que, por sus propiedades, parece extraordinario. Tan grande fue el descubrimiento que en 2010 Geim y Novoselov ganaron el Premio Nobel de Física. En la documentación que presentaron para su charla en Estocolmo explicaron que si se pudiera hacer una hamaca de  $1 \text{ m}^2$  de grafeno, ésta sería capaz de aguantar el peso de un gato de 4 Kg.

Antes de continuar con el grafeno hay que hacer una mención a Andre Geim, ya que se dedicó a estudiar cómo los materiales diamagnéticos se repelen y levitan, si se les aplica un campo magnético suficientemente grande. Aplicando un campo de 16 teslas al cuerpo de una rana -que es un material diamagnético-, lo hizo levitar, y por ello, además de ganar el Premio Nobel, Geim obtuvo también un premio Ig Nobel.

En 2004 Andre Geim y Konstantin Novoselov consiguen materializar el grafeno. Parten de grafito pirolítico de una pureza muy elevada, y se dedican a "deshojar", laminar y separar esas capas de grafito. ¡Y sí, lo hacen con cinta adhesiva! En su artículo *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*, publicado en *Science*, describen su proceso.



© ACL



Luego de este paréntesis regresemos al grafeno. Y es que estas dos personas con este espectacular material que proviene del grafito, revolucionaron al mundo. El grafeno tiene propiedades características de otros materiales por separado. Es transparente como el vidrio, flexible como los polímeros, conduce la corriente de una manera parecida a la de los metales, es biocompatible, y al ser una monocapa, es compatible con la microfabricación de dispositivos. Todo esto en un solo material.

La Unión Europea vio grandes posibilidades en la aplicación de este nuevo material. Tan es así que lanzó una iniciativa para su estudio, la European Graphene Flagship, un proyecto de diez años de duración que reuniría a los grupos de investigación más importantes en su campo para trabajar conjuntamente e investigar este material en todas sus vertientes: el material en sí, su fabricación, su producción, posibles compuestos, aplicación en sensores y en salud, usos en electrónica, en integración fotónica y en generación de energía. Todo ello para mejorar la calidad de vida del ciudadano. La iniciativa comenzó en 2013 y finalizará este año de 2023.

Diez años de colaboración, esfuerzo y descubrimiento conjunto han dado algunas aplicaciones tangibles y con espacio en el mercado al grafeno. 1. Su elevada resistencia mecánica, gran transparencia y conductividad eléctrica son ideales para mejorar la durabilidad y eficiencia de placas solares y pantallas táctiles. 2. Sus inusuales cualidades eléctricas podrían alargar la vida de las baterías de litio y en combinación con el silicio, mejorar los circuitos electrónicos actuales. 3. El grafeno tienen propiedades químicas que le permiten extraer metales pesados del agua e incrementar la eficiencia de los sistemas de desalinización. 4. Se han logrado producir interfases neuronales con transistores de grafeno de puerta líquida, capaces de medir las ondas cerebrales y darle un mapa completo de esa respuesta eléctrica al neurofisiólogo que le permitan entender mejor enfermedades como la epilepsia, el Alzheimer y la depresión.



### PARA SABER MÁS SOBRE LOS COMPUESTOS CARBONOSOS

- G.A. Olah, A Life Of Magic Chemistry: Autobiographical Reflections of a Nobel Prize Winner, WileyInterscience, 2000. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1994/olah-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1994/olah-lecture.html)
- Mildred Dresselhaus: la reina del carbono <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1532/2270>
- M.S. Dresselhaus, J.G. Mavroides, IBM Journal of Research and Development, 1964, 8(3), 262; <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5392236&isnumber=5392225>
- Nazario Martín, Sobre fullerenos, Nanotubos de carbono y grafenos <https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1254>
- Mildred Dresselhaus, Instituto Tecnológico de Massachusetts - Espectros Raman de grafeno y nanotubos de carbono. [https://youtu.be/acv-FlqtM\\_gU](https://youtu.be/acv-FlqtM_gU)
- Great 2017 Commercial - GE - Scientist Millie Dresselhaus, <https://youtu.be/eAa4ZBDU8v4>
- Professor Andre Geim gave the public lecture: A Randon Walk to Grahene <https://youtu.be/b5jquSYxY8>
- K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov: *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films* <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1102896>
- Sensores de grafeno que interactúan con el cerebro en el Mobile World Congress 2016 <https://www.clinicbarcelona.org/noticias/sensores-de-grafeno-que-interactuan-con-el-cerebro-en-el-mobile-world-congress-2016>
- Alessandra Fabbro et al; Graphene-Based Interfaces Do Not Alter Target Nerve Cells, **American Chemical Society**, <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsnano.5b05647>

#### \*GABRIELA PÉREZ AGUIRRE

Estudió ingeniería química en la Facultad de Química de la UNAM. Es autora de libros de texto de física y química a nivel secundaria y de química a nivel bachillerato. Colaboró en la concepción, desarrollo y edición de libros de texto, interactivos y guiones para la red EDUSAT, del Instituto Latinoamericano para la Comunicación Educativa (ILCE). Formó parte del equipo editorial de la Revista Ciencias, de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

#### SUPLEMENTO MERCURIO VOLANTE

#### HIPÓCRITA LECTOR