

El Premio Nobel de Física 2010 Grafeno. El entramado de carbono perfecto

Una fina escama de carbono, justamente del espesor de un átomo, se encuentra tras el Premio Nobel de Física. **Andre Geim y Konstantin Novoselov** han mostrado que el carbono en forma plana tiene propiedades excepcionales cuya explicación se encuentra en el dominio de la física cuántica.

El grafeno es una forma de carbono. Un material completamente nuevo, no solo el más delgado, también el más fuerte. Como conductor de la electricidad es tan bueno como el cobre y como conductor del calor supera a todos los materiales conocidos. Es completamente transparente y tan denso que ni las pequeñas moléculas del gas helio pueden pasar a través de él.

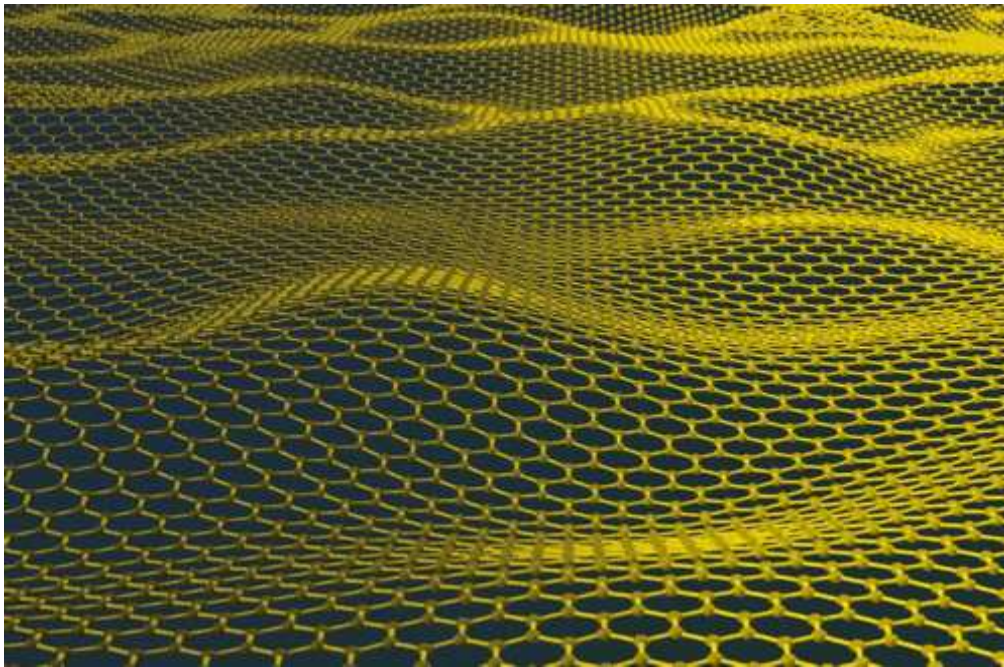


Figura 1. Grafeno. La lámina casi perfecta tiene un espesor de sólo un átomo. Consiste en átomos de carbono unidos en forma hexagonal formando un patrón parecido al de un panal.

En consecuencia, el artículo sobre el grafeno publicado en Science, en octubre de 2004, despertó un enorme revuelo en todo el mundo. Por un lado las exóticas propiedades del grafeno permiten a los científicos confirmar sus teorías. Por otro, una gran variedad de aplicaciones prácticas nuevas parecen posibles, incluyendo la creación de nuevos materiales y la fabricación de dispositivos electrónicos innovadores.

El carbono, la base de la vida en nuestro planeta, vuelve a sorprendernos.

Lápiz, papel y cinta adhesiva

No ha sido fácil obtener grafeno, el milagroso material proviene del grafito ordinario que podemos encontrar en los lápices. Sin embargo, las cosas más simples y evidentes a menudo están ocultas a nuestra vista.

El grafeno consiste en átomos de carbono formando un entramado plano, similar a la estructura de los panales, pero de tan sólo un átomo de espesor. Un milímetro de grafito consta de tres millones de láminas de grafeno apiladas una encima de la otra. La unión entre las láminas es muy débil, siendo por tanto muy fáciles de separar. Cualquier persona que haya escrito algo con un lápiz normal ha experimentado esto y es posible que al hacerlo, una única lámina de átomos (grafeno), terminara en el papel.

Esto es lo que sucedió cuando Andre Geim y Konstantin Novoselov utilizaron cinta adhesiva para extraer finas láminas de un pieza de grafito. En un principio consiguieron láminas que constaban de muchas capas de grafeno, pero cuando repetían el truco de la cinta diez o veinte veces obtenían láminas cada vez más finas. El siguiente paso consistió en encontrar minúsculos fragmentos de grafeno entre capas más gruesas de grafito y trozos de carbono.

Entonces tuvieron su segunda brillante idea: a fin de poder ver los resultados de su meticuloso trabajo los científicos de Manchester decidieron depositar las láminas sobre una placa de óxido de silicio, el material estandar con el que se trabaja en la industria de los semiconductores.

Cuando colocaron la placa en un microscopio convencional pudieron ver un arco iris de colores, similar al que se observa cuando se echa aceite sobre el agua, pudiendo entonces determinar el número de capas de grafeno en la lámina. El espesor de la capa inferior de óxido de silicio se reveló crucial para revelar el grafeno. Bajo el microscopio, el grafeno podía ser visto como un material cristalino y bidimensional estable a temperatura ambiente.

El grafeno es una red perfectamente regular de átomos de carbono con sólo dos dimensiones, largo y ancho. La unidad básica que se repite consiste en seis átomos de carbono enlazados. El grafeno, al igual que otras formas de carbono conocidas, consiste en miles de millones de átomos de carbono unidos formando un patrón hexagonal.

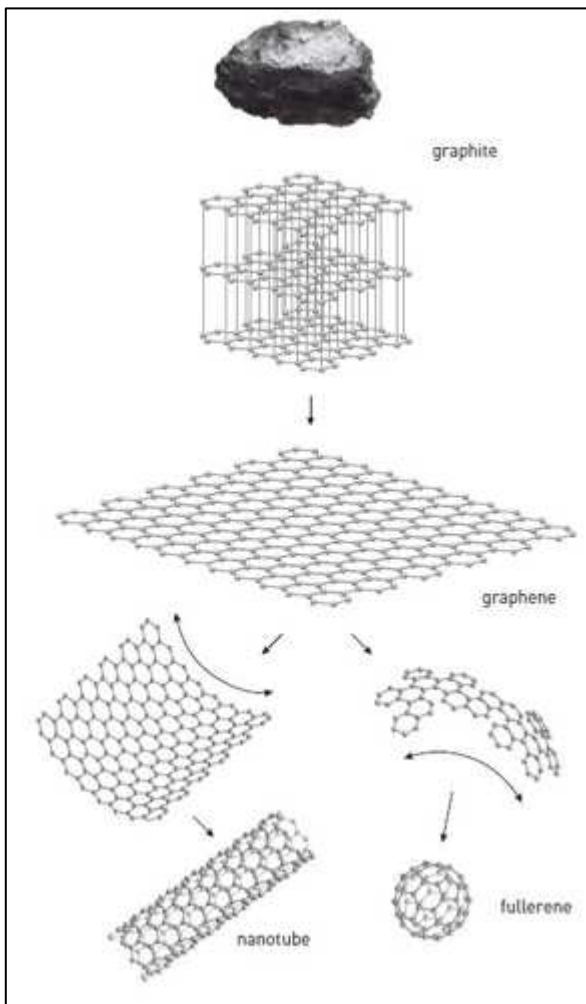


Figura 2. Grafeno en el grafito. El grafito es un material que se encuentra en la naturaleza. Cuando separamos las láminas de que consta tenemos grafeno. Las láminas se pueden enrollar formando nanotubos o pequeñas pelotas, los fullerenos. Oculto en el interior del grafito el grafeno esperaba ser descubierto

Esperando el descubrimiento

Por supuesto el grafeno siempre ha existido; lo crucial fue haber sido capaces de detectarlo. Del mismo modo que otras formas de carbono fueron observadas por los científicos cuando se descubrió la forma de hacerlo: primero los nanotubos y, a continuación, las esferas de carbono, los fullerenos (Premio Nobel en química 1996). Atrapado en el interior del grafito el grafeno estaba esperando para ser liberado (véase la figura 2).

Realmente, nadie pensaba que era posible.

Muchos científicos pensaron que sería imposible aislar materiales tan finos: deberían arrugarse a temperatura ambiente o simplemente desaparecer. A pesar de ello algunos intentaron obtenerlo aunque intentos anteriores habían fracasado. Se habían logrado obtener películas con un espesor de menos de 100 átomos, de hecho se habían obtenido películas tan finas que resultaban transparentes.

Una manera de obtener grafeno a partir de grafito es introducir sustancias químicas entre las capas de átomos con el fin de debilitar el enlace entre ellas y lograr la separación de las láminas. Otra consiste, simplemente, en intentar separarlas por deslizamiento. También se intentó mediante calentamiento intenso de cristales de carburo de silicio. A muy altas temperaturas pueden obtenerse finas láminas de carbono. También se probaron diferentes técnicas de crecimiento epitaxial utilizadas para obtener materiales semiconductores usados en la industria electrónica. Hasta la fecha se han logrado producir láminas de grafeno de 70 cm de ancho.

En un mundo de paradojas

Andre Geim y Konstantin Novoselov sólo fueron capaces de obtener micro escamas del nuevo material. A pesar de lo minúsculo de las muestras pudieron comenzar a investigar las dos rasgos más notables del grafeno que influyen en sus propiedades eléctricas.

El primero es su perfecta composición. La ausencia de errores en la red es debido a la fortaleza de los enlaces entre los átomos de carbono. Al mismo tiempo los enlaces son lo suficientemente flexibles para que las láminas puedan ser estiradas hasta un 20% de su tamaño. La red también permite que los electrones recorran largas distancias sin sufrir perturbaciones.

En condiciones normales los electrones rebotan contra los átomos como una bola en una máquina de pinball. Estos choques hacen que el rendimiento del conductor disminuya.

El otro rasgo sorprendente del grafeno es que los electrones se comportan como partículas de luz carentes de masa (fotones) que se mueven en el vacío a una velocidad de 300 millones de metros por segundo. Los electrones circulan por el grafeno como si no tuvieran masa a una velocidad constante de un millón de metros por segundo. Esto abre la posibilidad de estudiar ciertos fenómenos más fácilmente en una escala más pequeña, por ejemplo sin la necesidad de usar grandes aceleradores de partículas.

El grafeno también ha permitido probar a los científicos algunos extraños fenómenos cuánticos sólo predichos de forma teórica. Uno de estos fenómenos es una variante del efecto túnel de Klein, formulado por el físico sueco Oskar Klein en 1929. El efecto túnel describe cómo algunas partículas, según la física cuántica, pueden atravesar barreras que normalmente sería imposible de atravesar. Cuanto mayor sea la barrera menos será la probabilidad de que las partículas cuánticas la atraviesen. Sin embargo, esto no se aplica a los electrones que viajan en el grafeno: en algunas circunstancias se mueven como si las barreras no existieran.

Mundos de ensueño

Las posibles aplicaciones del grafeno han recibido una gran atención. Hasta hace poco la mayoría de ellas eran pura fantasía, pero algunas ya son realidades probadas por Geim y Novoselov.

La conductividad del grafeno ha levantado un gran interés. Se ha predicho que los transistores de grafeno serán sustancialmente más rápidos que los de silicio actuales. Los procesadores de los ordenadores serán más pequeños, más rápidos y más eficientes. Los que se construyen actualmente con silicio tienen un límite de tamaño a partir del cual dejan de funcionar. El límite para el grafeno es mucho más pequeño, el número de componentes que se podrá empaquetar en un chip será considerablemente mayor que el actual.

Hace pocos años se presentó un componente clave: un transistor de grafeno, tan rápido como su homólogo de silicio, todo un hito en la electrónica. Quizás estamos al borde de otra miniaturización que conducirá a equipos cada vez más eficientes en el futuro. Hasta ahora los ordenadores de grafeno son sólo un sueño lejano, aunque monitores transparentes y finísimos que pueden enrollarse y transportarse en una bolsa de mano ya están a disposición del público en algunas tiendas de productos electrónicos.

De momento sólo podemos especular sobre algunas de las posibles aplicaciones, ya que los resultados obtenidos hasta la fecha son aún inciertos.



Figura 3. Como una lámina de seda. Pliegues de una lámina de grafeno sobre una superficie de silicio. La imagen se obtuvo con un microscopio electrónico y está ampliada cerca de 5 000 veces.

Como el grafeno es prácticamente transparente (casi al 98%), y al mismo tiempo puede conducir la electricidad, sería adecuado para la producción de pantallas táctiles transparentes, paneles luminosos y, tal vez, células solares. También algunos plásticos podrían convertirse en conductores mezclados con 1% de grafeno.

Del mismo modo mezclando grafeno en una proporción de sólo un uno por mil se aumentaría la resistencia al calor de materiales plásticos en unos 30 °C mientras que, al mismo tiempo, se vuelven más robustos mecánicamente. Esta resistencia podría utilizarse en nuevos materiales super fuertes, que también serían delgados, elásticos y ligeros. En el futuro, satélites, aviones y automóviles podrían ser fabricados con estos nuevos materiales.

La perfecta estructura de grafeno también lo hace apto para la producción de sensores extremadamente sensibles, capaces de registrar los más pequeños niveles de impurezas. Incluso una sola molécula adsorbida sobre la superficie del grafeno podría ser detectada.

Un juego muy serio

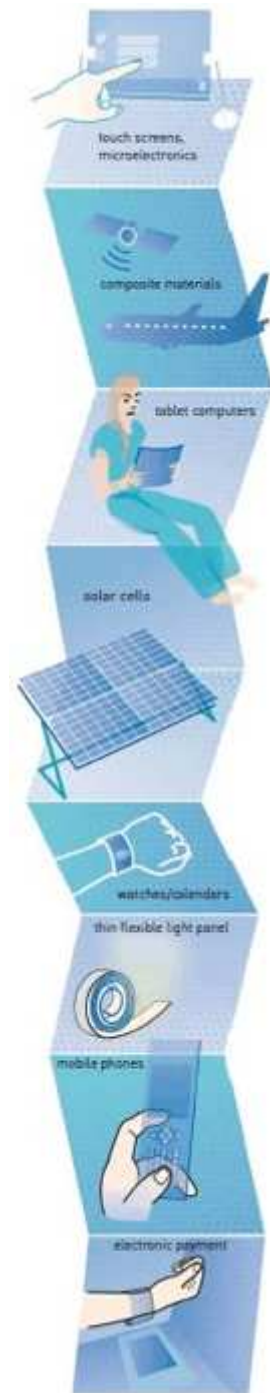
La lista de las posibles aplicaciones del grafeno es muy grande. La incesante actividad que comenzó tras su descubrimiento es muy probable que, finalmente, de fruto. Nadie podía predecir lo que nos traería el futuro, ni siquiera este Premio Nobel. Los premiados supieron aprovechar las oportunidades y tuvieron suerte, aunque como bien sabemos, ésta favorece a los mejor preparados.

Los laureados piensan que la investigación puede ser divertida. Han trabajado juntos durante mucho tiempo. Konstantin Novoselov (de 36 años), comenzó a trabajar con Andre Geim (de 51) como un estudiante de doctorado en Holanda. Posteriormente siguió a Geim al Reino Unido. Ambos estudiaron y comenzaron su carrera como físicos en Rusia. Ahora ambos son profesores en la Universidad de Manchester.

La alegría es uno de sus rasgos distintivos. Con lo que tienen a su disposición intentan crear algo nuevo, a veces incluso permitiendo que sus cerebros trabajen sin rumbo fijo. Siempre se aprende algo en el proceso y, quién sabe, incluso te puede caer el gordo. Es lo que les pasó hace siete años, cuando crearon una cinta superadhesiva inspirada en la capacidad del lagarto gecko para pegarse incluso a las superficies más suaves.

Antes, en 1997, Andre Geim logró hacer que una rana levitase en un campo magnético; una ingeniosa forma de ilustrar los principios de la física. La levitación de la rana le valió el Premio Ig nobel en el año 2000 que trata "que la gente primero ría y luego piense".

Ahora, con el grafeno, Andre Geim y Konstantin Novoselov han escrito sus nombres en los anales de la ciencia.



Enlaces y lecturas avanzadas

La información adicional sobre los Premios Nobel de este año, incluyendo un artículo científico de fondo en inglés, puede ser consultada en la página web de la Royal Swedish Academy of Sciences <http://kva.se> y en <http://nobelprice.org>. Esta última incluye un video de la conferencia de prensa en la cual fueron anunciados los premios.

Información y actividades relacionadas con los Premio Nobel y el Premio de Economía puede ser encontrada en www.nobelmusset.se

Websites

A. K. Geim's Condensed Matter Physics Group, University of Manchester, www.graphene.org
Kim Group, Columbia University, <http://pico.phys.columbia.edu>
Scientific American, www.scientificamerican.com, search for "graphene"

Lectures (video)

Geim, A. K. *Graphene, Magic of Flat Carbon*, Lancaster University, June 2010, www.viddler.com/explore/lanconsuniscitech/videos/21

Popular scientific articles

Geim, A. K. and Kim, P. (2008) Carbon Wonderland, *Scientific American* 298(4): 90–97, www.condmat.physics.manchester.ac.uk/pdf/mesoscopic/news/graphene/SciAm_2008.pdf
Chodos, A. (Ed.) (2009) October 22, 2004: Discovery of Graphene, *APS News* 18(9):2, www.aps.org/publications/apsnews/200910/physicshistory.cfm

Original publication

Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V, Grigorieva, I. V. and Firsov, A. A. (2004) Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science* 306(5696): 666–669.

THE LAUREATES	
<p>Andre Geim</p> <p>School of Physics and Astronomy University of Manchester Oxford Road Manchester M13 9PL, UK</p> <p>www.condmat.physics.manchester.ac.uk/people/academic/geim</p> <p>Dutch citizen. Born 1958 in Sochi, Russia. Ph.D. 1987 from Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Russia. Director of Manchester Centre for Mesoscience & Nanotechnology, Langworthy Professor of Physics and Royal Society 2010 Anniversary Research Professor, University of Manchester, UK.</p>	<p>Konstantin Novoselov</p> <p>School of Physics and Astronomy University of Manchester Oxford Road Manchester M13 9PL, UK</p> <p>www.condmat.physics.manchester.ac.uk/people/academic/novoselov</p> <p>Brittish and Russian citizen. Born 1974 in Nizhny Tagil, Russia. Ph.D. 2004 from Radboud University Nijmegen, The Netherlands. Professor and Royal Society Research Fellow, University of Manchester, UK.</p>