

ARTÍCULO

GRAFENO. Objeto del Premio Nobel de física para 2010

Máximo Barón
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Belgrano

En varios números recientes de esta REVISTA DIGITAL aparecieron noticias, tanto científicas como técnicas, acerca de este material que hasta podría decirse que no es nada extraño ni novedoso por cuanto tiene su origen en algo tan conocido desde hace mucho tiempo como el grafito.

Corresponde, entonces echar una rápida mirada sobre el elemento CARBONO, que además de ser uno de los más abundantes sobre nuestro planeta es uno de los componentes fundamentales de todos los seres vivos y de no pocos compuestos inorgánicos. Desde el ubicuo bióxido de carbono hasta los carbonatos de metales y no metales.

En realidad no es muy difícil decidir por donde empezar ya que dos de los materiales más conocidos que lo contienen son el diamante y el grafito que, dicho en términos científico son dos formas alotrópicas del carbono.



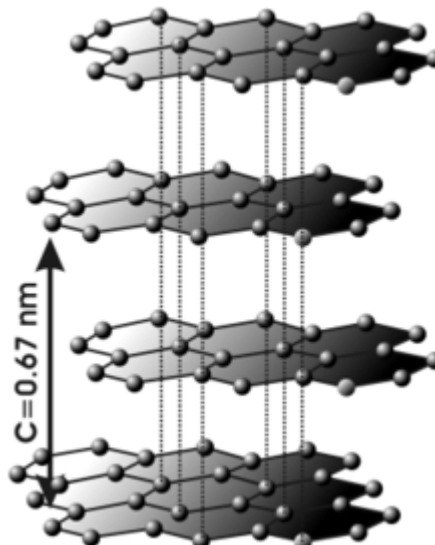
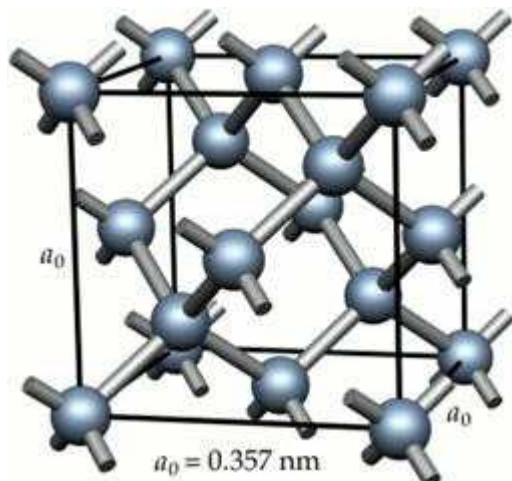
DIAMANTE



GRAFITO

En sus formas más puras ambos están formados exclusivamente por átomos de carbono y vale preguntarse: ¿Dónde está la diferencia?

Pues nada más ni nada menos que en la forma en que los átomos de carbono están unidos entre sí que, naturalmente es muy distinta en ambos casos. A tal punto que el diamante es uno de los sólidos más duros mientras que el grafito es uno de los más blandos (que lo digan sino los fabricantes de minas de lápiz).



Aquí cabe preguntarse: ¿Qué tiene que ver esto con el Premio Nobel de Física para este año?

En realidad es una historia muy curiosa que, de alguna manera, empezó hace más de un siglo cuando un joven químico holandés, intrigado por la forma en la que se representaban las estructuras de los compuestos químicos tuvo la “peregrina” idea de sacar las fórmulas del plano. En efecto hasta la década de los años 70 del siglo XIX las distintas propuestas para representar las fórmulas de los



compuestos químicos eran esencialmente planas. Una de ellas se debió a Adolph Wilhelm Hermann Kolbe (1818-1882) quien, entre muchas otra contribuciones desarrolló sendas teorías sobre la estructura química que tuvieron bastante éxito en la descripción de los radicales y permitió predecir la existencia de alcoholes secundarios y terciarios.

Lamentablemente no quiso aceptar ni la estructura del benceno propuesta por Kekulé y mucho menos la tetravalencia espacial del carbono propuesta por el joven van't Hoff, que en 1875 publicó un folleto intitulado: **La chimie dans l'espace**, provocando una airada reacción de Kolbe. Sus términos fueron de lo más violentos como puede verse a continuación:

Un tal Dr. H. van 't Hoff, de la Escuela Veterinaria de Utrecht, no tiene, aparentemente, ningún interés por la investigación química

rigurosa. Le ha parecido más cómodo montarse en Pegaso (tomado prestado, al parecer, de la Escuela Veterinaria) y proclamar en su "La chimie dans l'espace" cómo le parece que los átomos se disponen en el espacio cuando está subido al Monte Parnaso, que ha alcanzado mediante un atrevido vuelo.



J. H. van't Hoff (1852-1911) fue el Primer Premio Nobel en Química, otorgado en 1901, pero no precisamente por esa propuesta sino "*por el descubrimiento de las leyes de la dinámica química y de la presión osmótica en las soluciones químicas*".

De todas maneras fue la visión espacial de van't Hoff la que llevó a considerar a las moléculas como entes tridimensionales, con todo lo que ello significó para la química a partir de entonces.

Esta visión espacial es la que fue llevando a entender una multitud de situaciones y fenómenos a nivel molecular y aun cristalográfico que de otra manera hubiesen sido incomprensibles.

Este es, entre otros, el fenómeno de la llamada *banda de conducción* que se encuentra por encima de la superficie de muchas sustancias que son conductoras. Ya en 1947 P. R. Wallace (1), mediante cálculos de la física del estado sólido predijo la estructura de bandas del grafito, lo que explicaría la capacidad de conducción de electrones a través de las distintas capas de este material que, como se ve en las figuras anteriores está formado efectivamente por capas de átomos de carbono unidos entre sí.

En 1957 J. W. McClure (2) analizó la estructura de bandas del grafito aplicando la fórmula de susceptibilidad para bandas en general de Lifschitz y Kosevich.

Es decir que según la teoría las bandas de conducción en el grafito eran una realidad pero el hecho de su constitución en capas hacía muy difícil su aplicación. Una posible vía de solución estaba, naturalmente, en la eventual posibilidad de separar capas de grafito lo más delgadas posible. Idealmente de un átomo de espesor.

Esta situación persistió hasta el 22 de octubre de 2004 cuando Geim y Novoselov, junto con varios colaboradores, publicaron en la revista Science su ahora célebre artículo intitulado: *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films* (3). Lo verdaderamente fascinante de este trabajo y figura en las primeras líneas del Abstract que dice textualmente: (sic) *“Describimos películas monocristalinas de grafito que tienen espesor de unos pocos átomos, pero aun así son estables en las condiciones ambientales normales, son metálicas y de notable alta calidad”*.



Andre Geim

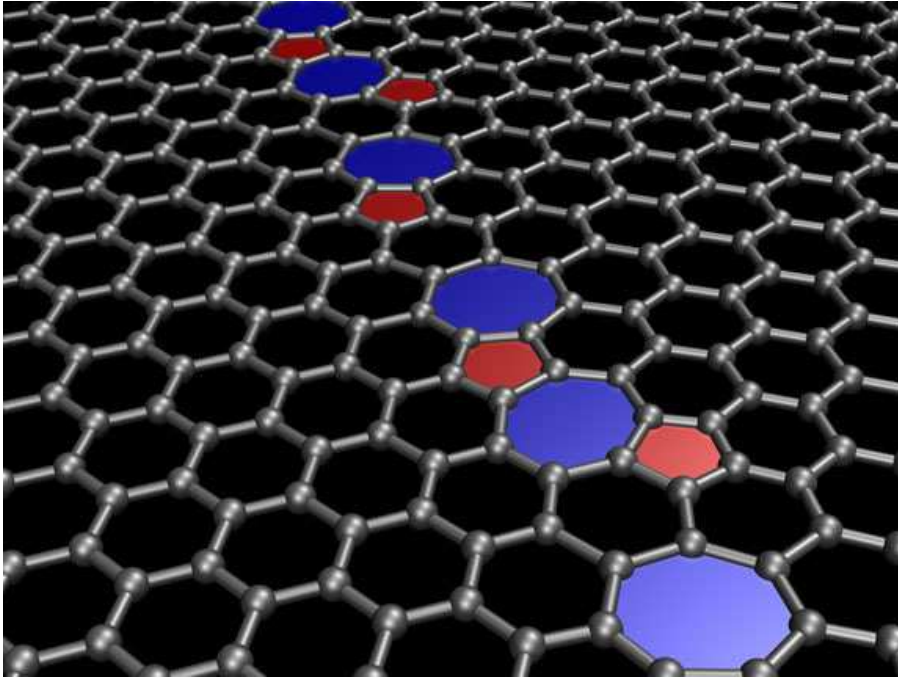
Oleg Novoselov

Ambos fueron galardonados con el Premio Nobel de Física para 2010 y su trabajo tiene una muy curiosa reminiscencia química porque en cierto modo recuerda el trabajo seminal de J. E. van't Hoff acerca de la distribución de los átomos en el espacio. Esta contribución fundamental, como ya quedó dicho al principio de estas líneas, sacó a las moléculas del plano bidimensional en el que se las representaba y las llevó al espacio tridimensional. De esta manera se llegó a pensar que no era posible una distribución de átomos en dos dimensiones y, si bien en la década de los años 40 se sugirió la posibilidad de que el carbono podría presentarse en láminas de un átomo de espesor, la propuesta teórica fue descartada como poco probable.

Sin embargo, la naturaleza tiene sus propias reglas y con gran frecuencia le juega malas pasadas a los teóricos. Esto es exactamente lo que encontraron Geim y Novoselov que con el sencillo artificio de adherir una cinta adhesiva (la conocida cinta *Scotch*) a una lámina de grafito lograron “arrancar” una capa de átomos de carbono del espesor de uno o de unos pocos átomos. Es decir que utilizaron el método de exfoliación más sencillo de imaginar y la operación se lleva una lámina prácticamente monomolecular de grafito que tiene las extraordinarias propiedades ya descritas.

Este descubrimiento parece haber sido producto del azar y sus descubridores lo caracterizaron, medio en broma medio en serio, como *“un proyecto para un viernes por la tarde”*. Indicando tal vez que se trataba de uno de esos tantos estudios que son más frutos de la curiosidad que de un razonamiento sistemático.

Para estudiar estas láminas se empleó el Microscopio de Fuerza Atómica (Atomic Force Microscope) que permitió identificar la existencia de estas láminas casi monoatómicas que presentan el aspecto indicado en la figura siguiente:



Esta imagen del grafeno se publica por cortesía de Oleg V. Yazyev y Steven G. Louie (UC Berkeley y LBNL).

De todas maneras este material, que recibe el nombre de **grafeno**, tiene propiedades totalmente excepcionales tanto desde el punto de vista químico como físico. Es notablemente sólido y rígido pero, al mismo tiempo maleable y extendible. Es químicamente inerte y de notables propiedades térmicas y eléctricas. Esto último es de especial importancia porque los electrones presentan un comportamiento muy particular cuando están confinados en una superficie de dos dimensiones, abriendo las puertas para la fabricación de pantallas transparentes de gran tamaño (de 30 pulgadas – 1 metro) sensible al tacto. Pero este es solamente uno de los aspectos interesantes ya que con él se prevé una verdadera revolución en el campo de la electrónica.

Referencias

1. P.R. Wallace, The Band Theory of Graphite. Phys. Rev. 71, 622–634 (1947).
2. J. W. McClure, Band Structure of Graphite and de Haas-van Alphen Effect Phys. Rev. 108, 612–618 (1957).
3. K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva and A. A. Firsov, *Science* 22 October 2004: Vol. 306 no. 5696 pp. 666-669