El año de la **QUÍMICA** y su **influencia** en la **física** y otras CIENCIAS

Arnaldo **González Arias**
Antonio **Horta**

En consonancia con los 100 años del otorgamiento del premio Nobel de Química a la polaca Marie Skłodowska Curie, en su 63ª reunión de diciembre de 2008 la Asamblea General de la ONU proclamó a 2011 como el Año Internacional de la Química, persiguiendo tres objetivos esenciales:

1. Crear conciencia y comprensión en el gran público de cómo la química puede responder a las necesidades globales.
2. Despertar el interés de los jóvenes en esta ciencia.
3. Reconocer la contribución de las mujeres al mundo de la química así como resaltar los principales hitos históricos en su desarrollo.

La UNESCO promociona la participación en las actividades programadas para el Año Internacional de la Química en el sitio http://www.chemistry2011.org.

Madame Curie fue la primera persona en recibir dos premios Nobel, pues con anterioridad al de Química en 1911 ya había recibido el de Física en 1903; ha sido la única persona en la historia en recibir premios Nobel en ciencias diferentes. Sus logros científicos incluyen haber desarrollado una teoría de la radioactividad (ella le dio nombre al fenómeno), técnicas para separar materiales radioactivos y el descubrimiento de dos elementos de la tabla periódica, el polonio y el radio. Fue además pionera en los estudios del tratamiento del cáncer con isótopos radioactivos.

LA QUÍMICA Y OTRAS CIENCIAS

Si hace apenas unos pocos decenios era relativamente fácil establecer una separación bastante precisa entre los límites de la química con la física y otras ciencias, ese límite se ha ido haciendo cada vez menos definido con el curso del tiempo. En el último decenio, el auge de las nanotecnologías aplicadas a la Ciencia de Materiales ha acelerado mucho el proceso de solapamiento. El especialista en materiales ya no puede atender exclusivamente el aspecto químico o el físico de un determinado material y despreocuparse del otro; lo usual es que para lograr las propiedades óptimas deseadas le sea necesario combinar los conocimientos de ambas ciencias. Se podría decir que tal combinación siempre fue más o menos intensa, pero indudablemente ahora lo es mucho más.

La química del carbono, sus enlaces y propiedades químico-físicas, que por mucho tiempo fueron de la atención exclusiva de los químicos, también han pasado a ser parte importante en los estudios de los físicos e ingenieros de materiales. Por citar un ejemplo, las celdas solares basadas en sustancias orgánicas son tema de desarrollo desde hace varios años en diversas universidades y centros de investigación.

TEFLÓN

Entre los muchos posibles ejemplos de la interacción entre la química y la física en la ciencia de materiales, quizás uno de los más llamativos –aunque ya no tan reciente– es el del Teflón, nombre comercial empleado para designar al politetrafluoretileno (ptfe) y otros materiales de la misma familia. Su estructura microscópica es la de un polímero, formando largas cadenas a partir de una sección básica que se repite (el monómero). La fórmula química de cada sección elemental es similar a la del polietileno; ch2=ch2, con los hidrógenos (h) sustituidos por flúor (f) (Figura 1). El teflón fue creado accidentalmente en 1938 por el químico Roy J. Plunkett, de la transnacional DuPont, mientras investigaba la forma de obtener nuevas sustancias refrigerantes. Al tratar de caracterizar el nuevo material, Plunkett descubrió que era inerte a todos los disolventes, ácidos y bases que tenía a su disposición. Al inicio se reconocía que el teflón era un material inusual, pero no se sabía muy bien qué hacer con él. Las primeras evaluaciones técnicas y económicas sobre los costos para fabricar productos útiles fueron desalentadoras; resultó muy difícil justificar las primeras inversiones para su producción a gran escala, lo que retardó bastante la aparición y popularización de productos basados en el teflón.

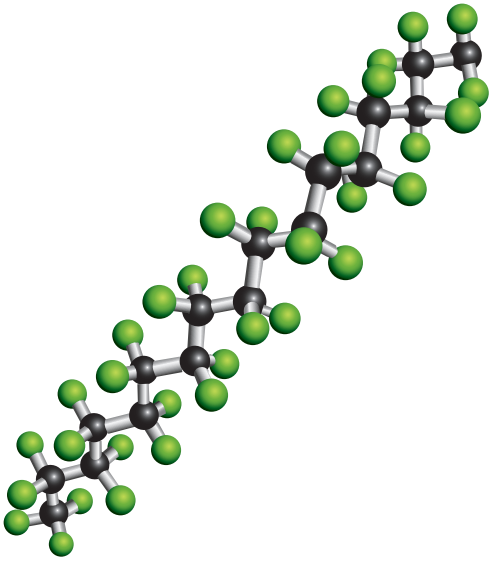

Figura 1. Estructura cristalina del teflón.

La virtud principal del teflón es que resulta ser prácticamente inerte y no reacciona con otras sustancias químicas, excepto en situaciones muy especiales. Sólo es atacado por metales alcalinos en estado elemental, por trifloruro de cloro y por flúor elemental a altas temperaturas y presiones. La carencia de reactividad hace que su toxicidad sea prácticamente nula. Otra cualidad característica es su impermeabilidad; además, mantiene inalterables sus cualidades en ambientes húmedos; piezas de teflón, expuestas durante veinte años a condiciones climáticas extremas no han mostrado cambios en sus propiedades. Es también un excelente aislante eléctrico y sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz y es capaz de soportar temperaturas desde -270 °C hasta 300 °C.

Su cualidad más conocida en lo popular es la antiadherencia, y es por eso que en cualquiera de sus variantes se utiliza para recubrir el interior de sartenes y cazuelas. Desde luego, se necesita un tratamiento

especial a alta temperatura para que la fina capa quede adherida al material de la sartén. Una propiedad adicional, no menos importante, es que resulta ser el material con el coeficiente de rozamiento más bajo que se conoce. Cuando nos referimos al contacto entre dos sólidos se habla de rozamiento. Si el contacto se refiere al de un sólido con un líquido o un gas, entonces tenemos viscosidad.

Ambos términos, rozamiento y viscosidad, se refieren a las fuerzas de fricción, pero las propiedades no son las mismas. La viscosidad depende exclusivamente de las propiedades del líquido y de la velocidad relativa de las superficies en contacto. El rozamiento es prácticamente independiente de la velocidad, una vez que las superficies han comenzado a moverse. La fricción por rozamiento es una fuerza mañosa. Siempre que dos superficies están en contacto, la fricción está presente. Pero a diferencia de otras fuerzas que actúan siempre en el mismo sentido, como la gravitatoria, que invariablemente tira de los cuerpos hacia la tierra, la fricción no lo hace así. Si se coloca la mano ejerciendo presión sobre la superficie de una mesa y se intenta deslizarla hacia adelante, la fricción actuará hacia atrás. Pero si mueve la mano hacia atrás, entonces la fricción actuará hacia adelante. Siempre contraria al movimiento.

La fuerza de rozamiento depende a su vez de la fuerza de interacción normal o perpendicular a las superficies en contacto; mientras más fuerte se haga presión sobre la mesa, más difícil será deslizar la mano. También depende de otro factor, el coeficiente de fricción o rozamiento. Para cada par de superficies sólidas existe un coeficiente diferente; mientras mayor sea este coeficiente también será mayor la fuerza de rozamiento. Así, por ejemplo, el coeficiente toma un valor entre 0.4 y 0.6 para dos superficies de acero pulido (como en los ejes de una carreta sin caja de bolas). Ese valor se reduce a 0.05-0.1 si el eje se engrasa adecuadamente (porque el rozamiento cambia a viscosidad, con otras leyes). Sin embargo, si una superficie es de acero y la otra de teflón, el valor del coeficiente de rozamiento se reduce unas 10 veces, hasta 0.04. Con el transcurso de los años el teflón se ha convertido en un material de amplias aplicaciones domésticas, industriales y aeroespaciales. Además de la fabricación de cazuelas, sartenes, moldes para hornear y otros utensilios de cocina, la industria mecánica lo emplea en la producción de engranajes y diferentes mecanismos autolubricados, a causa de su bajo coeficiente de fricción. La industria automotriz lo emplea para fabricar diferentes tipos de mangueras, frenos, filtros de aceite y escobillas de limpiaparabrisas que no hacen ruido. También se utiliza ampliamente en la industria eléctrica y electrónica como aislamiento externo o forro de alambres y cables, como dieléctrico para separar las chapas de los condensadores variables de los radioreceptores, en la fabricación de semiconductores y como material aislante de la electricidad. Algunos han criticado su empleo en los utensilios de cocina, pues es cierto que al calentarse a temperaturas altas el material se descompone y puede generar gases nocivos; sin embargo, esas temperaturas se encuentran muy por encima de la que es capaz de alcanzar cualquier utensilio cuando se emplea normalmente para cocinar. Desde luego, si en forma inapropiada se deja el utensilio vacío expuesto al fuego directo durante 5 minutos o más, es posible alcanzar temperaturas que comiencen a descomponer el material.

GRAFENO

Este es otro ejemplo de material mucho más reciente, también basado en la química del carbono, que en los últimos años ha creado conmoción en el universo de la electrónica y la ciencia de materiales. Cada día que pasa se reduce más el intervalo de tiempo entre un nuevo descubrimiento y la implementación de sus aplicaciones prácticas. Si para popularizar el teflón se necesitaron décadas, solo bastaron 6 años para pasar de la obtención del grafeno al reconocimiento universal de su descubrimiento, pues el premio Nobel de Física de 2010 recayó en los físicos de la Universidad de Manchester André Geim y Konstantín Novoselov por los resultados alcanzados en el estudio del grafeno. Aunque la Unión Internacional de Cristalografía (IUPAC) bautizó formalmente este compuesto en 1994, no fue hasta 2004 que se logró separar por primera vez una capa individual de grafeno del grafito volumétrico.

Pero, ¿qué es el grafeno? Los átomos de carbono forman dos tipos de sólidos estables a la temperatura ambiente con propiedades físicas muy diferentes: el diamante y el grafito. La diferencia está en la forma que se ordenan los átomos a nivel microscópico. En el diamante, uno de los materiales más duros que existen, son los átomos de carbono que forman una malla tridimensional, entrelazada y compacta. En el grafito, mucho más blando, los átomos se ordenan en estructuras hexagonales similares a las de un panal de abejas (Figura 2). Esas celdas están fuertemente enlazadas por los costados, formando capas bidimensionales; sin embargo, los enlaces entre capas adyacentes son muy débiles, de manera que cada capa se desliza fácilmente respecto a las demás. De ahí proviene la "blandura" del grafito, que deja fácilmente una huella en el papel y nos permite escribir con él. Es tan blando que se usa incluso como lubricante sólido. Cada una de esas capas de carbono, esté o no integrada al grafito, es una capa de grafeno.

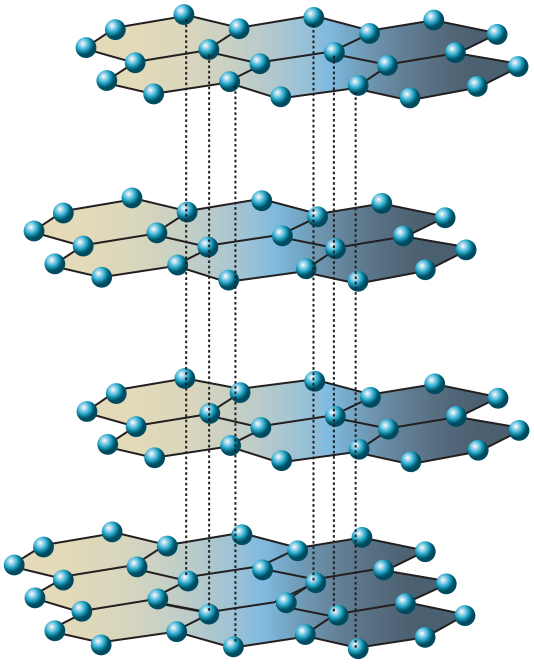

Figura 2. Estructura cristalina del grafeno.

Geim y Novoselov lograron en 2004 separar las monocapas y estudiar por primera vez sus singulares propiedades. Se obtuvo así un nuevo material, constituido por una sola capa bidimensional de carbono, con propiedades físicas muy diferentes a las del grafito volumétrico. El espesor de una capa de grafeno es tal que un gramo bastaría para cubrir totalmente un campo de fútbol. El hallazgo del grafeno fue, sin lugar a dudas, algo sorprendente. Hasta ese momento, tanto la teoría como el experimento indicaban que no era posible la existencia de estructuras cristalinas bidimensionales desligadas del cristal volumétrico. Los cálculos indicaban que tal estructura sería inestable y que tendría que colapsar para formar una estructura tridimensional normal.

A partir del descubrimiento comenzó una intensa investigación acerca de las propiedades del grafeno. Su alta transparencia óptica y gran conductividad eléctrica lo hace un buen candidato para la confección de electrodos transparentes, aplicables a dispositivos tales como pantallas de cristal líquido, celdas fotoeléctricas orgánicas y diodos orgánicos emisores de luz. Su flexibilidad y alta resistencia mecánica también resultan ventajosas en comparación con las de otros materiales que se emplean en la microelectrónica.

Otra posible aplicación podría ser la confección de ultracondensadores, con una capacidad de almacenar carga eléctrica y energía mayores que las de los existentes hasta el momento. En diciembre de 2008 la IBM hizo público que habían logrado fabricar transistores de grafeno operando a frecuencias del orden de un gigahertz. Anteriormente, en ese mismo año, se había reportado la construcción de un transistor ultrapequeño (1 átomo de espesor, 10 átomos de ancho). Los transistores son la base de los circuitos integrados y de toda la electrónica moderna. Los procedimientos para obtenerlo también se han multiplicado. Si el método inicial fue utilizar cinta adhesiva para exfoliar los cristales de grafito repetidas veces con una posterior disolución en acetona y sedimentación, actualmente existen otros muy diversos. Uno de ellos consiste en aplicar sacarosa a un substrato de cobre o níquel y calentar a 800 ^{o}C a baja presión en atmósfera inerte o reductora. El proceso tarda solamente 10 minutos, se puede adecuar a escala industrial y permite controlar la pureza del grafeno obtenido.

En enero de 2010 la revista *Science* reportó la síntesis del grafano, también en la Universidad de Manchester. El grafano posee una estructura monocapa

similar a la del grafeno, con la diferencia de que los átomos de carbono, además de estar enlazados entre sí, lo están también a átomos de hidrógeno ubicados a ambos lados de la capa (Figura 3). A diferencia del grafeno, el grafano no conduce la corriente eléctrica. Los enlaces con el hidrógeno "amarran" los electrones responsables de la buena conductividad eléctrica del grafeno, convirtiéndolo en un aislante. No obstante, el grafano mantiene las buenas propiedades mecánicas de su antecesor; super resistencia mecánica, alta densidad y flexibilidad. Al calentar a una temperatura suficientemente alta el hidrógeno se elimina y el grafano se convierte de nuevo en grafeno.

En principio, controlando la ubicación de los átomos de hidrógeno en la malla del grafeno sería posible construir materiales aislantes con regiones intermedias conductoras –principio de operación de infinidad– de dispositivos microelectrónicos.

Pero quizás lo más importante sea que la obtención del grafano abre las puertas a muchas otras modificaciones. Con el grafeno conductor en un extremo y el aislante grafano en el otro, no es difícil vislumbrar una gran familia de nuevos materiales que aparecerán al sustituir el hidrógeno por átomos de otro tipo. Por ejemplo, en principio parece posible sustituir el hidrógeno, o parte de él, con flúor, cuyas posibilidades de enlace con el carbono son similares a las del hidrógeno. Así se obtendría un nuevo material con propiedades diferentes al grafeno y al grafano.

¿Será posible lograr que un solo material basado en el carbono pueda ser modificado para cubrir el espectro completo necesario en todas o casi todas las aplicaciones electrónicas? Dada la gran cantidad de investigadores trabajando actualmente en este sentido, es muy posible que tales materiales aparezcan mucho antes de lo que se pudiera imaginar.

La gran importancia del descubrimiento de Geim y Novoselov es que abrió las puertas a todo un universo de nuevos dispositivos, con propiedades ópticas y eléctricas insospechadas. Así, por ejemplo, a principios de 2008, en la Universidad de Rutgers, lograron construir láminas transparentes de grafeno con un área de decenas de centímetros cuadrados, un espesor de 5 nanómetros y una alta transparencia del orden del 99%.

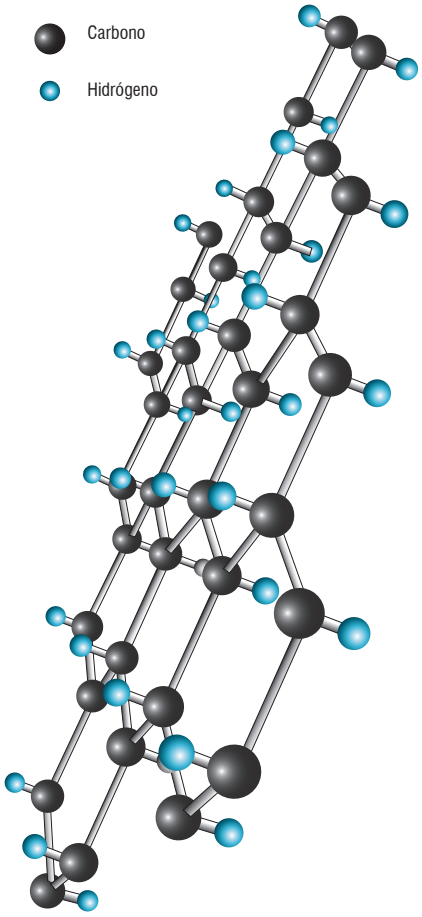

Figura 3. Estructura cristalina del grafano.

En septiembre de 2010 el boletín de la Materials Research Society reportó que el grafeno sometido a determinados procesos presenta propiedades de absorción muy intensas en el infrarrojo, no observadas en otros materiales. Esa característica también podría ser aprovechada en el futuro para crear nuevos dispositivos optoelectrónicos.

Prácticamente cada día que pasa aparecen nuevas posibilidades de dispositivos basados en la física de los semiconductores, todas ellas emparentadas a la química del carbono.

Arnaldo González Arias
Departamento de Física Aplicada
Universidad de La Habana
arnaldo@fisica.uh.cu

Antonio Horta
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad de Guanajuato
anthort@hotmail.com

© **Enrique Soto,** de la serie *Qué chula es Puebla*.