

Elementos Químicos: El Carbono, C

Joaquín Palacios Alquisira*

Para celebrar la aparición de la primera Tabla Periódica de los Elementos Químicos, diseñada por el profesor Dimitri Mendeleev en el año de 1869, se han preparado una serie de artículos que presentan de manera resumida y amena algunos aspectos históricos, propiedades fisicoquímicas, aplicaciones y abundancia en la Tierra de elementos representativos de las familias que constituyen a la Tabla Periódica. Esperamos que la información seleccionada resulte interesante para todos, especialmente para nuestros jóvenes alumnos de bachillerato, quienes están muy abiertos a conocer las maravillas de la naturaleza: en este caso conocer las peculiaridades de los bloques constructivos de la Química.

Aquí presentamos a uno de los elementos que ha sido reconocido como indispensable para la existencia de la vida animal y vegetal en la Tierra. Como veremos, el carbono también participa en un muy buen número de procesos industriales, pues forma parte de las moléculas que son las materias primas que sustentan a las tecnologías más antiguas y a las de más reciente invención.

El carbono. Aspectos históricos

El carbono fue utilizado desde tiempos inmemoriales por los pueblos y culturas muy antiguos. En las culturas egipcia y sumeria en el año 3750 a.C. se registra ya el empleo del carbón natural como un combustible fósil, una fuente de energía útil para el consumo doméstico y también en las actividades de trabajo.

El carbono fue encontrado en los tatuajes del cuerpo del hombre de las nieves, Otzi, que se encontró en los Alpes, y sabemos que tiene aproximadamente 5300 años de existencia. En él se pudo identificar una forma muy primitiva de tinta preparada tomando como base al carbono. El procedimiento para tatuar el cuerpo consistió en hacer pequeños cortes en la piel; dentro de ellos se frotó la tinta de carbono, siguiendo un procedimiento parecido a la acupuntura.

En el año 900 a.C., en los aluviones del sur de la India se descubrieron diamantes en las corrientes acuosas y en minas. Las actividades de búsqueda de diamantes continuaron sin interrupción hasta mediados del siglo XVIII. Para finales de ese siglo, en Brasil comenzó de manera exitosa la búsqueda de diamantes. Alrededor del año 1725 se reportó un aumento muy importante en la recolección de piedras preciosas.

En el año 1722, R. Antoine Ferchault de Réaumur demostró que el hierro puede transformarse en acero, si se le adiciona una muy pequeña cantidad de carbono.

Antoine Lavoisier en 1772, realizó un experimento público en el que empleó la energía solar focalizándola sobre una muestra muy pequeña de un diamante. En otro experimento sometió al mismo



Diamante.

proceso de calentamiento a una muestra de carbono vegetal; las dos muestras estaban formadas por el mismo elemento: carbono, y al quemarse a muy altas temperaturas las dos muestras no liberaron agua, sino que solamente desprendieron CO_2 , el cual se colectó y cuantificó dando la misma cantidad de CO_2 /g muestra, en las dos muestras.

En sus trabajos científicos Carl Wilhelm Scheele encontró que el grafito y el carbono son el mismo elemento, pues al reaccionar con ácido nítrico producen CO_2 .

Años más tarde, en 1786, Claude Louis Berthollet confirmó que el grafito es principalmente carbono, con una muy pequeña cantidad de hierro. En 1789 Lavoisier en su tratado de química, ya reconocía al carbono como un elemento muy importante.

Un nuevo alótropo del carbono fue preparado en la Universidad Rice, en Houston, Texas en 1985, por el grupo de Dr. Richard Smalley. Ellos vaporizaron grafito por medio de una fuente láser, y así obtuvieron pequeñas esferas de 60 átomos de carbono, a las que llamaron fullereno o *Bucky balls*.

En las décadas siguientes se han descubierto otras moléculas de carbono puro como *Bucky eggs* y nanotubos que tienen propiedades importantes.

En 2010, se reportó la preparación de nanotubos de carbono que contienen fibras conductoras; estas estructuras se pueden usar para almacenar energía, fabricar celdas solares, y también baterías de larga vida.

El grafeno es una lámina monoatómica de carbono que es muy ligera y flexible, de alta resistencia mecánica, y conduce la electricidad mejor que el cobre. Las tecnologías basadas en el elemento carbono siguen avanzando de manera espectacular.

El carbono tiene varias formas alotrópicas. La alotropía en química significa la existencia en estado sólido de formas estructurales,

Departamento de Fisicoquímica, Posgrado. Facultad de Química, UNAM. Ciudad Universitaria, CDMX, C. P. 04510.

*polylab1@unam.mx



Grafito

moleculares o cristalinas de un elemento. Los alótropos del carbono son: grafito, diamante, fulereno y grafeno.

En el grafeno cada átomo de carbono está unido a tres átomos del mismo elemento que forman una estructura hexagonal muy estable. Se presenta como una sola capa atómica

(monocapa atómica) o con un número reducido de capas menor a diez. Por tanto, su estructura es laminar plana, bidimensional, del espesor y del orden de un átomo. Los átomos de carbono en el grafeno están densamente empaquetados en redes cristalinas parecidas a un panal de abejas; los átomos están unidos mediante enlaces covalentes formados por la superposición de enlaces híbridos sp^2 . El grafeno formado por dos capas del material tiene propiedades importantes, y su estructura electrónica única favorece el transporte electrónico. La bicapa de grafeno no debe considerarse como dos capas individuales sino como un sistema electrónico compuesto. El grafito es el componente básico para preparar al grafeno, y se considera que el grafeno es el cristal más fino conocido actualmente.

Propiedades físicas y químicas

El carbono tiene como símbolo C, su número atómico es 6, su temperatura de fusión es muy elevada ($T_m = 3,550\text{ }^\circ\text{C}$), así como su temperatura de sublimación ($T_s = 3,800\text{ }^\circ\text{C}$).

En la Tabla 1 encontramos valores de algunas propiedades físicas de las cuatro formas alotrópicas del carbono: grafito, diamante, fulereno y grafeno.

Como se puede apreciar sus características intrínsecas son espectacularmente diferentes, la apariencia contrasta del negro del grafito a la transparencia, claridad y brillo intenso de los diamantes puros. En cuanto a su dureza el grafito es suave, se puede untar fácilmente sobre superficies como la del papel (lápices), en cambio el diamante es el material conocido de mayor dureza, ocupa el lugar más elevado, 10 en la escala estándar de dureza de los materiales, Escala de Mohs.

| Propiedades | Grafito | Diamante | Fulereno | Grafeno |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|
| Estructura | Hexagonal laminar | Cristales cúbicos | Esferas Hexagono-pentágono | monocapa atómica |
| Color | Negro | Transparente (sin color) | Negro | Negro |
| Dureza | Blando | Muy duro | Suave | ----- |
| Conductividad Eléctrica | Conductor | No conductor | Conductor | Conductor |
| Densidad (g/m^3) | 2.25 | 3.52 | 1.72 | Alta |
| Lubricidad | Sí | ---- | ---- | Sí |

Tabla 1. Propiedades físicas comparativas de las cuatro formas alotrópicas* del carbono.

Los puntos de fusión T_m de los alótropos de carbono son bastantes altos. Tanto el grafito como el fulereno conducen la corriente eléctrica, no así el diamante, el cual es aislante.

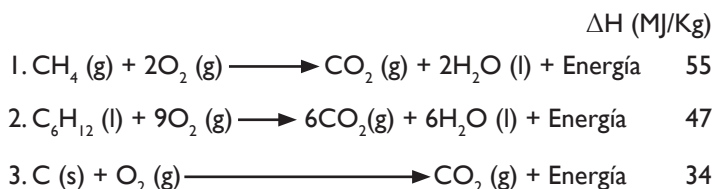
El grafito se usa en la industria como lubricante, mientras que el diamante se emplea para fabricar herramientas de corte y pulido para otros materiales.

Los cristales del diamante forman estructuras compactas de densidad mayor a la que muestran las láminas de carbono en su forma de grafito, la celda unitaria tiene arreglo hexagonal y crece en dos dimensiones.

A partir de los residuos colectados (cenizas) después de la cremación de cuerpos humanos, se han sintetizado diamantes de buena calidad. El proceso se efectúa a una temperatura de $2000\text{ }^\circ\text{C}$ y 10^5 atmósferas, en presencia de pequeñas cantidades de un catalizador de hierro (Fe) o de cromo (Cr).

Como combustible fósil, el carbono se utiliza en compuestos en forma gaseosa (metano, butano). En forma líquida lo vemos formando parte de los compuestos de la gasolina, que es una mezcla de hidrocarburos alifáticos C_6 a C_8 . El carbono vegetal se quema en los hornos en forma sólida. El calor liberado en cada una de las reacciones en las que participan compuestos del carbono con el oxígeno, es aprovechado para producir electricidad o mover vehículos, o también lo usamos para cocinar y calentar.

Algunas reacciones químicas en las que participa el carbono son:



En la Tabla 2 se presentan los valores del poder calorífico o calor de combustión en MJ/Kg de varios combustibles que son ampliamente empleados en la industria.

Para el grafeno, las propiedades eléctricas, fotónicas, mecánicas y térmicas dependen del número y de la estructura cristalina de las capas, así como de su ordenamiento. Es interesante marcar que las propiedades físicas de las formas alotrópicas del carbono surgen de diferencias menores en los arreglos microscópicos de los átomos de carbono, y también dependen del proceso de fabricación o preparación por el cual el grafeno es sintetizado.

El grafeno presenta propiedades únicas como su alta área superficial específica ($2\ 600\text{ m}^2/\text{g}$); tiene excelente conductividad térmica ($5000\text{ W}/\text{m K}$), mayor que la del cobre, y por tanto, disipa calor con gran facilidad; tiene movilidad electrónica de alta velocidad ($200,000\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$); alta rigidez y resistencia mecánica (módulo de Young alrededor de $1,000\text{ GPa}$). Su extraordinaria actividad electrocatalítica y sus propiedades ópticas son notables. La fuerza de ruptura del grafeno es de 1770 nN .

Debido a sus destacadas propiedades, el grafeno es un material que puede sustituir al silicio en la fabricación de chips en la industria electrónica.

* Alótropo: forma o fase en la cual se puede presentar un elemento químico.

| Material | Poder calórico (MJ/Kg) |
|-----------------------------|------------------------|
| Hidrógeno | 142 |
| Gas Metano | 55 |
| Gasolina | 47 |
| Carbón Bituminoso (grafito) | 36 |
| Coque | 34 |
| Carbón vegetal | 30 |

Tabla 2. Poder calorífico o calor de combustión de diferentes formas del carbono comparando con otros combustibles útiles.

Aplicaciones

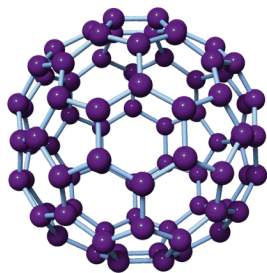
El carbono es el elemento químico fundamental para la existencia de la vida, pues forma parte de los bloques o elementos estructurales con los cuales se construyen los órganos, cuerpos de animales, y plantas. Otro número grande de sustancias que contienen al carbono forman al petróleo y sus derivados, y son los combustibles básicos que mueven a nuestras sociedades, son la materia prima para fabricar materiales plásticos, fibras, fármacos, etc.

El carbono está presente en un número importante de los procesos tecnológicos que han cambiado a nuestro mundo. En la industria metalúrgica las formulaciones de hierro con carbono y otros metales forman aleaciones que han mejorado de manera espectacular la dureza, maleabilidad, ductilidad y resistencia mecánica del acero.

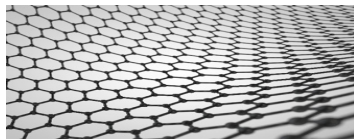
En la industria que se dedica a la fabricación de llantas de hule, el carbono conocido como *carbon-black* es un componente fundamental pues asegura la correcta vulcanización en las reacciones de reticulación con el azufre. La vulcanización del hule natural mejora sus propiedades de manera importante, aumenta la elasticidad, la resistencia a la fricción y al desgarrar, de tal manera que se producen llantas, bandas y mangueras de alto desempeño para los transportes pesados y ligeros.

Las industrias que se dedican a producir materiales poliméricos para con ellos hacer: plásticos, pinturas, fibras, adhesivos y muchas otras cosas, emplean como materias primas compuestos derivados de la petroquímica secundaria; todas estas sustancias contienen al carbono como parte de sus moléculas.

Los diamantes sintéticos se obtienen a partir de grafito a muy altas presiones y temperaturas (2000 °C); bajo estas condiciones se obtienen pequeños cristales que no tienen valor comercial como joyas; sin embargo, son muy útiles para preparar herramientas de corte.



Fulereno



Grafeno

Abundancia en la tierra

El carbono es el cuarto elemento más abundante en el universo, después del hidrógeno, helio y oxígeno. El carbono es abundante en el Sol, las estrellas y los cometas, así como en las atmósferas de muchos planetas. Algunos meteoritos contienen diamantes muy pequeños, los cuales se formaron cuando el sistema solar era aún un disco protoplanetario. Los pequeñísimos diamantes también se pueden formar por la alta presión y temperatura en los sitios donde se impactan los meteoritos.

Se ha estimado que la tierra en su fase sólida contiene 730 ppm de carbono, con 2000 ppm en el centro o núcleo y 120 ppm en la corteza, en forma de compuestos. El carbono combinado con el oxígeno, en forma de dióxido, se encuentra en la atmósfera de la tierra; también está disuelto en todos los cuerpos de agua. Como sabemos los hidrocarburos componentes del petróleo, del gas natural y del carbón vegetal contienen carbono. Las reservas de petróleo y de gas natural son fuentes abundantes de energía.

El carbono se encuentra también en la forma de hidratos de metano en las regiones polares bajo las aguas oceánicas, y - en forma de carbonatos - es un constituyente importante de grandes masas rocosas, dolomitas, mármol y piedra caliza.

Referencias

- Alzahrani, A. Z. and Srivastava, G. P. Graphene to graphite: electronic changes within DFT calculations. *Braz. J. Phys.* **2009**, *39*, 4, 694-698.
- Bailey, M. The chemistry of coal and its constituents. *J. Chem. Educ.* **1974**, *51* (7), 446-448.
- Bozak, R. and García, M. Chemistry in oil shale. *J. Chem. Educ.* **1976**. *53* (3), 154-155.
- Brownson Dale, A.C.; Kampouris, Dimitrius K.; Banks, Craig E. An overview of graphene in energy production and storage applications. *J. Power Sources.* **2011**, *196*, 4873-4885.
- Changgu, L.; Xiaoding, W.; Jeffrey W., K.; James H. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science* **2008**, *321*, 385-388.
- Davis, R. Energy of Planet Earth. *Sci. Am.* **1990**. 54-62.
- Liu, Qian; Shi, Jianbo; Jiang, Guibin. Application of graphene in analytical sample preparation. *Trac-Trend. Anal. Chem.* **2012**. *3*, 1-11.
- Lü, M., Li, J., Yang, X. et al. Applications of graphene-based materials in environmental protection and detection, *Chin Sci Bull.* **2013**. *58*, 2698-2710.
- Morton L.; Hunter, N.; Gesser, H. Methanol, a fuel for today and tomorrow. *Chem. Ind.* **1990**. 457-462.
- Mostaghaci, B. The new type of graphene films: Super flexible, highly conductive. *Advanced Science News*. Posted on May 19, **2017**. <https://www.advancedsciencenews.com/new-type-graphene-films-super-flexible-highly-conductive/> (Consultada el 28 de febrero de 2019).