

INSPIRADOS POR LA TABLA... EL CARBONO

María Gabriela Lorenzo

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica (CIAEC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

E-mail: glorenzo@ffyb.uba.ar

Yo elegí al elemento Carbono. Lo conocí hace mucho, allá cuando cursaba el quinto año de la secundaria y me enamoré perdidamente de él. Me sorprendía enormemente su capacidad creadora, ese poder combinarse con otros átomos de manera tan versátil que puede dar origen a una infinidad de compuestos nuevos. Y desde ese entonces, me puse del lado de la Química Orgánica, que en cantidad de sustancias posibles había superado ampliamente a la Química Inorgánica.

Parece que tengo que compartir este amor por el Carbono con al menos otros cinco químicos François Diederich, Karl Jørgensen, Joel S. Miller, [Matthias Bickelhaupt](#) y [Nikos Tagmatarchis](#).

François Diederich (2019) confiesa que su amor por el carbono y los compuestos ricos en carbono comenzó durante la disertación de su tesis doctoral, cuando sintetizó el kekuleno ($C_{48}H_{24}$) (Figura 1) una estructura circular de anillos fusionados de benceno [nos parece un nombre de lo más apropiado para un compuesto orgánica].

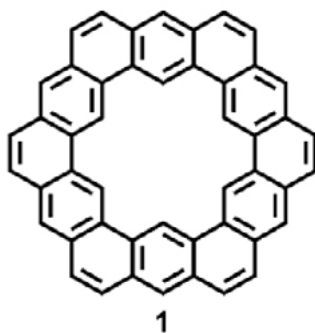


Figura 1. Estructura del kekuleno

En la subsiguiente investigación independiente con su grupo de trabajo, a través del programa de fullerenos, persiguió la síntesis de moléculas alotrópicas de carbono y desarrolló ciclos carbonados acetilénicos de C18. Así logró el primer fullereno quiral convirtiendo a la química supramolecular de fullerenos en otro importante tópico.

Para el Prof. Karl Jørgensen (2019) una de las aventuras más fascinantes tiene lugar cuando el dióxido de carbono se incorpora al mundo viviente, penetrando en las hojas verdes de las plantas y en un proceso único, se combina con los fotones de la luz solar y agua para dar lugar a un conjunto de reacciones catalizadas enzimáticamente para transformarse en moléculas orgánicas complejas fundamentales para la vida.

Luego, estos compuestos carbonados son convertidos en otras moléculas sofisticadas gracias a las enzimas de los sistemas vivientes. Y finalmente, su más destacada propiedad consiste en su participación en el proceso de fecundación entre óvulo y espermatozoides para generar una nueva vida. Sin embargo, sus propiedades asombrosas son por tiempo limitado y en un momento regresan, para reiniciar el ciclo como dióxido de carbono. Y mientras tanto, los químicos orgánicos pueden considerarse privilegiados porque pueden acompañar al carbono en su aventura para tratar de elucidar sus secretos.

Por su parte, Joel Miller (2019) sigue prefiriendo al carbono, a pesar de haber estado involucrado a lo largo de los años con ochenta y un elementos no radioactivos naturales, cinco radioactivos y dos, fabricados por el hombre.

El carbono encarna el aliento y la belleza de la química ya que resalta la importancia de la estructura y la configuración electrónica en las propiedades físicas y químicas. Esto es así porque el C tiene alótropos que van desde la sustancia más dura y aislante eléctrico, el incoloro diamante, hasta el más blando pero importante conductor eléctrico y lubricante, el negro grafito pasando por el carbono amorfo y vidrioso conocido desde tiempos inmemoriales.

Las formas elementales son menos comunes pero demuestran su versatilidad y agregan a la paleta de propiedades que incluyen al C_2 , como la fuente del matiz azul en la llama de los hidrocarburos, al C_{60} , una forma icosaédrica púrpura que es también un lubricante a altas temperaturas y un prototipo de muchas *buckyballs* (moléculas esféricas de fullerenos y nanotubos) que han estimulado la imaginación de muchos químicos y hasta la de la última generación de físicos.

El grafeno, que no es más que una única capa de grafito, está siendo considerado como un material electrónico cada vez más importante. Y el elusivo alótropo carbino, al que se le atribuye ser el material más fuerte y resistente, ha sido reportado en el interior de las dobles paredes de los nanotubos de carbono.

Mi elección del carbono como mi elemento favorito tiene que ver también con su lugar en la tabla periódica. La tabla periódica muestra normalmente la forma de los elementos a la temperatura y presión estándar (25°C y 1 atm). Por lo tanto, el mercurio y el bromo figuran como

líquidos y otros once elementos como gases, en la mayoría de las tablas. [Note que muchas veces las tablas no son idénticas en todos los detalles]. De todos modos, las tablas periódicas tradicionalmente proporcionan un límite entre los no metales y los metales que son por lejos, la mayoría de los elementos. Este límite está constituido por aquellos elementos a los que se considera como metaloides, un término vago y arcaico para un elemento que posee propiedades intermedias entre los no metales y los metales.

Los metaloides universalmente aceptados son los siguientes: Boro, Silicio, Germanio, Arsénico, Antimonio, Teluro y Polonio (Figura 2a). Debido al uso inconsistente de la palabra "metaloides" en los diferentes idiomas, la IUPAC proclamó el abandono del uso de este término para ser reemplazado por "semimetal". En este contexto, sin embargo, no está definido y tampoco está exento de ambigüedades. Probablemente, el término "semimetal" haga referencia a un elemento con propiedades entre los metales (p. ej. alta conductividad eléctrica, ductilidad, brillo) y los no metales (p. ej. baja conductividad eléctrica, fragilidad y ausencia de brillo). Podríamos objetar el uso de los términos metaloides o semimetal (y hasta incluso el de semiconductores, dado que claramente B, Si y Ge lo son), pero claramente el C siempre aparece como no metal.

El grafito es el alótropo de carbono termodinámicamente estable a temperatura y presión estándar. Como grafito es semiconductor band gap nulo y se comporta como metaloides en su apariencia y sus propiedades eléctricas, entonces el C es un metaloides. Además, el diamante exhibe la más alta conductividad térmica, lo cual es una característica de los metales.

| IIIA 13 | IVA 14 | VA 15 | VIA 16 | VIIA 17 | VIII 18 |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | | 2 He 4.003 |
| 5 B 10.811 | 6 C 12.011 | 7 N 14.007 | 8 O 15.999 | 9 F 18.998 | 10 Ne 20.183 |
| 13 Al 26.982 | 14 Si 28.086 | 15 P 30.974 | 16 S 32.064 | 17 Cl 35.453 | 18 Ar 39.948 |
| 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.59 | 33 As 74.922 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.904 | 36 Kr 83.80 |
| 49 In 114.82 | 50 Sn 118.69 | 51 Sb 121.75 | 52 Te 127.60 | 53 I 126.904 | 54 Xe 131.30 |
| 81 Tl 204.37 | 82 Pb 207.19 | 83 Bi 208.980 | 84 Po (210) | 85 At (210) | 86 Rn (222) |

| IIIA 13 | IVA 14 | VA 15 | VIA 16 | VIIA 17 | VIII 18 |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | | 2 He 4.003 |
| 5 B 10.811 | 6 C 12.011 | 7 N 14.007 | 8 O 15.999 | 9 F 18.998 | 10 Ne 20.183 |
| 13 Al 26.982 | 14 Si 28.086 | 15 P 30.974 | 16 S 32.064 | 17 Cl 35.453 | 18 Ar 39.948 |
| 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.59 | 33 As 74.922 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.904 | 36 Kr 83.80 |
| 49 In 114.82 | 50 Sn 118.69 | 51 Sb 121.75 | 52 Te 127.60 | 53 I 126.904 | 54 Xe 131.30 |
| 81 Tl 204.37 | 82 Pb 207.19 | 83 Bi 208.980 | 84 Po (210) | 85 At (210) | 86 Rn (222) |

Figura 2. Fragmento de la Tabla Periódica de los elementos A) tradicional y B) la que se propone aquí. No metales son azules, los metales, amarillos y los metaloides o semimetales son verdes

Por lo tanto, en este año designado por las Naciones Unidas como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos, con

el debido respeto a Jonathan Swift (1667–1745), me gustaría humildemente hacer Una Modesta Proposición, esta es que es mucho más apropiado considerar al carbono como un metaloide en lugar de un no metal (Figura 2b). Esto es alimento para los pensamientos que permiten mantener viva a la tabla periódica y evolucionando en continuo desarrollo. No obstante, la región de los metaloides continúa llena de conflictos, ya que el diablo yace en los detalles y una definición clara e inequívoca sigue siendo esquiva.

El carbono, también es el elemento favorito del Prof. Mattias Bickelhaupt (2019), probablemente desde que asistía a la escuela primaria, cuando parece que había dicho que los químicos debían salvar el mundo a través del desarrollo de nuevos compuestos carbonados para lidiar con las problemáticas energéticas, las enfermedades y el cuidado del ambiente. Más adelante, su fascinación por el carbono creció a medida que fue conociendo sus propiedades y aplicaciones. Aunque el carbono no es exactamente uno de los elementos más abundantes ni en la tierra ni en el resto del universo, su importancia es inmensa para ambos. Y por supuesto, que las características del carbono son fundamentales para las actividades humanas desde los orígenes y su posibilidad de arder hasta las posibilidades académicas e industriales para crear materiales y compuestos química-mente sofisticados.

¡Pero todavía hay más! El carbono tiene propiedades únicas especialmente en su capacidad de establecer uniones químicas, se podría decir que es el “conector universal” en el mundo molecular. Su comportamiento sistemático le permite formar enlaces simples, dobles y triples dando origen a diferentes geometrías (tetrahédrico, trigonal y lineal). Y todavía quedan algunos comportamientos que resultan misteriosos, que se describen con algunas reglas semiempíricas. Por ejemplo, pueden encontrarse algunos carbonos hipervalentes en compuestos aromáticos e incluso en saturados o insaturados. Un comportamiento que ha sido recientemente comprendido es la fuerte resistencia del carbono a formar geometrías pentavalentes, a diferencia del silicio, a menos que se trate de estructuras lábiles como en el caso de los estados de transición de las reacciones S_N2 .

La experiencia como investigador en química del Prof. Nikos Tagmatarchis (2019) comenzó con sus estudios doctorales sobre el diseño y síntesis de catecolaminas con posible actividad como agentes dopaminérgicos y adrenérgicos en 1992. Luego, sus intereses cambiaron hacia los materiales nanoestructurales basados en carbono a partir del advenimiento de los fullerenos, los nanotubos y posteriormente el grafeno y materiales relacionados.

Sin lugar a dudas, el 15 elemento más abundante sobre la tierra y el cuarto en el universo es su elemento favorito, porque es capaz de formar

los compuestos que son la base de toda forma de vida conocida. Casi diez millones de compuestos químicos diferentes tienen carbono como elemento principal, algunos de ellos sintetizados por sus propias manos en su laboratorio en Atenas, Grecia, trabajando durante un cuarto de siglo. Su trabajo de síntesis incluyó nuevos compuestos orgánicos con actividad biológica, incorporación de nuevos grupos funcionales tanto en fullerenos como en nanotubos para aplicaciones vinculadas con la energía y otras nuevas características.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bickelhaupt, M. (2019). In my Element: Carbon. *Chemistry a European Journal*, 25, 19, <https://doi.org/10.1002/chem.201805431>
- Diederich, F. (2019). In my Element: Carbon. *Chemistry a European Journal*, 25, 3968, <https://doi.org/10.1002/chem.201803951>
- Jørgensen, K. (2019). In my Element: Love lies in Carbon. *Chemistry a European Journal*, 25, 4534, <https://doi.org/10.1002/chem.201804626>
- Miller, J. (2019). In my Element: Carbon. *Chemistry a European Journal*, 25, 1840, <https://doi.org/10.1002/chem.201803420>
- Tagmatarchis, N. (2019). In my Element: Carbon. *Chemistry a European Journal*, 25, 1117, <https://doi.org/10.1002/chem.201805446>