

Esta serie rescata algunos temas didácticos para ayudarse en la exposición de cada uno de los elementos químicos en un curso de química general o de química inorgánica.

## Boro

Laura Gasque Silva\*

Es el 38° elemento en abundancia en la corteza terrestre, en donde su concentración es de sólo 9 partes por millón (ppm). El nombre se lo puso el químico inglés Sir Humphry Davy, —el mismo que aisló por primera vez al sodio, al potasio, magnesio, calcio y al bario— después de aislarlo por primera vez en 1808. La palabra inglesa *boron* es una fusión de las palabras: *bórax*, mineral del que se extrae, y *carbon* (carbón), porque en estado elemental se parece a éste. El boro elemental es negro, lustroso y semiconductor, como el grafito, y muy duro, semejante al diamante (9.3 en la escala de Mohr, en la que el diamante tiene el valor máximo de 10.) Tiene varias formas alotrópicas complejas, en las que la unidad estructural es un cúmulo  $B_{12}$  en el que cada átomo de boro se encuentra en el vértice de un icosaedro (figura 1).

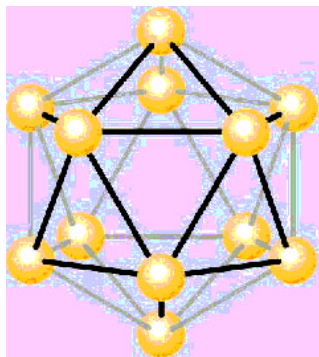


Figura 1. Unidad icosaédrica de  $B_{12}$ .

La palabra *bórax*, a su vez, proviene de la palabra árabe *bauraq* que significa blanco, y se refiere al mineral  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ . Éste era conocido desde tiempos muy antiguos, utilizado por los egipcios en el proceso de momificación y por los romanos en la fabricación de vidrio. Se piensa que fue Marco Polo quien en el siglo XIII introdujo este material a Europa, proveniente de los lagos salados de Kashmir y Tibet, para utilizarse como componente de jabones, en la fabricación de vidrios y cerámicas, y como fertilizante, aplicaciones

que se mantienen hasta nuestros días, como veremos a continuación.

### En el hogar

Del bórax se obtiene el ácido bórico,  $H_3BO_3$  que tiene aplicaciones farmacológicas, debido a su acción inhibitoria de hongos y bacterias. Principalmente se usa en disoluciones acuosas como enjuague oftálmico. También a partir del bórax se obtiene el peroxoborato de sodio  $Na_2[B_2(O_2)_2(OH)_4]$ , que es un constituyente de algunos detergentes comerciales, principalmente en Europa. Se emplea como abrillantador, porque absorbe luz ultravioleta y emite luz

visible, lo que hace que tanto las telas blancas como las de color se vean extra brillantes. Además, si el lavado se lleva a alta temperatura, cercana a los  $80^\circ C$ , los peroxoboratos se descomponen dando agua oxigenada, que también actúa como un blanqueador.

Al calcinar el ácido bórico, se obtiene el óxido,  $B_2O_3$ , que al mezclarlo y fundirlo con el óxido de silicio forma el vidrio que se conoce comercialmente como Pyrex, ampliamente utilizado en las cocinas de todo el mundo y en todos los laboratorios de química (figura 2).



Figura 2. Vidrio borosilicato.

Lo que hace especial al vidrio Pyrex o vidrio de borosilicato es que tiene un coeficiente de expansión térmica de apenas un tercio en comparación con el del vidrio común (que se hace con óxido de silicio y óxidos de sodio y calcio principalmente). Esto quiere decir que varía menos su volumen con la temperatura, lo que lo hace menos propenso a quebrarse, ya que no hay tanta tensión entre las caras interna y externa del material, aún cuando la diferencia de temperatura entre ellas sea muy grande.

### Apoyo a la salud

Se tienen informes del uso del bórax como fertilizante desde tiempos muy remotos, pero apenas hasta la segunda mitad del siglo XX se demostró su carácter esencial para las plantas, ya que los requerimientos son mínimos; aproximadamente una concentración de 1 a 5 ppm en el suelo es suficiente. Aunque aún se desconoce la naturaleza exacta de las especies químicas en las que se encuentra incorporado el boro en las plantas, la gran facilidad con la que el ácido bórico forma complejos estables con los grupos OH ha sugerido que pueda combinarse con moléculas de sacáridos, ricos en grupos OH y parte fundamental de la estructura de las plantas, por ejemplo en las membranas celulares.

\* Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, UNAM, 04510 México, D.F.

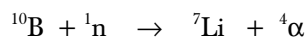
Se ha concluido que la carencia de boro en el suelo es más común en las regiones muy húmedas, ya que debido a la alta solubilidad en agua de los iones borato, éstos son arrastrados fuera del suelo. En suelos más bien áridos, normalmente el contenido de boratos es el adecuado para el éxito de las cosechas.

El interés sobre estos asuntos ha aumentado al darse a conocer recientes investigaciones clínicas que sugieren que el boro se encuentra relacionado con el metabolismo del calcio, magnesio y fósforo. Estos estudios fueron motivados originalmente por informes que describieron una importante correlación entre la incidencia de artritis en la población de ciertas regiones y la abundancia del boro en los suelos de cultivo de éstas. Por ejemplo en Israel, donde la incidencia de artritis es menor al 1% de la población, existen altos niveles de boratos en el suelo, mientras que en Jamaica se observa la situación opuesta; es decir, se encuentra uno de los más bajos niveles de boro en el suelo y la más alta incidencia de artritis en el mundo, cercana al 70%.

También se ha demostrado recientemente que hay una menor concentración de boro en los huesos y líquido sinovial de los pacientes artríticos que en los de las personas sanas. El tejido humano con mayor concentración de boro es el de las glándulas paratiroides, que mediante la hormona paratiroidea controlan la mineralización de los huesos. Por esta razón se ha iniciado un estudio cuyos resultados preliminares efectivamente sugieren que la adecuada presencia de boro en el organismo inhibe el desarrollo de la osteoporosis, que es una condición común en las mujeres postmenopáusicas y en los hombres mayores de 70 años, en la que los huesos pierden calcio.

Existe otro proceso químico en el que participa el boro contribuyendo a la conservación de la salud humana, pero proviene de un campo totalmente distinto: el de la química nuclear.

Este elemento existe en dos formas isotópicas estables, el  $^{10}\text{B}$ , con una abundancia del 18.8% y el  $^{11}\text{B}$  con abundancia del 81.2%. El primero tiene una propiedad muy particular, que es la de absorber neutrones de baja energía con mucha facilidad, llevándose a cabo la siguiente reacción nuclear:



Esta reacción nuclear es la base de algunas aplicaciones tecnológicas del boro, por ejemplo en los contadores Geiger. Estos dispositivos se utilizan

para detectar partículas, pero son incapaces de detectar neutrones. Entonces, si se llena una cámara de gas en el contador con una sustancia gaseosa de boro (por ejemplo  $\text{BF}_3$ ) en la que todos los átomos de boro sean del tipo  $^{10}\text{B}$ , cada vez que un neutrón pase por la cámara, se producirá una partícula  $\alpha$ , que el contador sí puede detectar.

Esta misma reacción se emplea en la medicina nuclear para el tratamiento del cáncer cerebral. Se inyectan al paciente ciertos compuestos de boro que tienen una afinidad química muy alta por el tejido tumoral, pero en los que todo el boro es del isótopo  $^{10}\text{B}$ , un poco después se irradia la zona afectada con neutrones de baja energía que causan relativamente muy poco daño a los tejidos. Estos neutrones, sin embargo, generan junto con el  $^{10}\text{B}$  partículas alfa, que son muy dañinas, y afectan principalmente a las células más cercanas, que son precisamente aquéllas en las que se generan, las cancerosas, que se destruyen así de manera bastante selectiva, sin necesidad de una intervención quirúrgica.

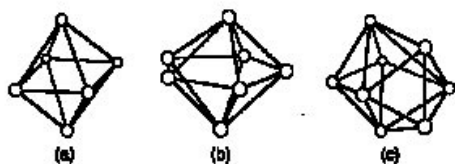
## Nuevos materiales

### Fibras de boro

Una de las aplicaciones del boro elemental que se encuentran actualmente en pleno desarrollo, es en la elaboración de fibras, semejantes a las fibras de carbono utilizadas en la fabricación desde raquetas de tenis y cañas de pescar, hasta estructuras de aviones. Las fibras de boro se obtienen depositando vapores de boro sobre filamentos de tungsteno con lo cual se logra obtener fibras con diámetros de 0.1 a 0.2 mm, y extraordinaria rigidez. Aunque estas fibras parecen prometedoras en la búsqueda de nuevos materiales ligeros que presenten gran resistencia y menor deterioro con el uso, su alto costo ha restringido su aplicación a equipo militar y aero-espacial.

### Nitruro de boro, $(\text{BN})_x$

También dentro del ámbito de la ciencia de materiales, el  $(\text{BN})_x$  o nitruro de Boro se ha vuelto de gran importancia. Este compuesto sintético tiene la peculiaridad de existir en dos formas alotrópicas análogas a las del carbono, el *grafito* y el *diamante*. Esto no es extraño si nos percatamos que el boro tiene un número atómico de 5 (el anterior al carbono, que lo tiene de 6) y el nitrógeno lo tiene de 7 (el siguiente al carbono). Si en un trozo de  $(\text{BN})_x$  hay el mismo número de átomos de boro que de nitrógeno, podemos pensar que su comportamiento sería, en promedio, como el del carbono, ya que habría el mismo núme-



**Figura 3.** Algunos boranos aniónicos: (a)  $B_6H_6^{2-}$ ; (b)  $B_7H_7^{2-}$  y (c)  $B_8H_8^{2-}$ .

ro de electrones y de protones. El nitruro de boro análogo al grafito —hexagonal— es un polvo blanco con propiedades lubricantes semejantes a las del grafito, pero a diferencia de éste, el  $(BN)_x$  no conduce la electricidad, debido precisamente a la no equivalencia de los átomos vecinos en el empaquetamiento cristalino. Este material, también conocido como grafito blanco, se utiliza como lubricante, componente de materiales cerámicos, aislante y sorprendentemente —debido a su consistencia sedosa, de lubricante, y su capacidad para dispersar la luz y su gran inercia química—, icomo cosmético!

Al someter al nitruro de boro hexagonal a presiones y temperaturas muy altas ( $2000^\circ\text{C}$  y 60 kbar) se convierte en nitruro de boro cúbico, un material con estructura tetraédrica igual a la del diamante. Como es casi tan duro como éste, se utiliza como abrasivo en situaciones de muy altas temperaturas a las que aún los diamantes no pueden usarse porque forman carburos.

### *Boruro de magnesio, $MgB_2$*

Y apenas en enero de este año (2001), a unos investigadores japoneses de superconductores se les ocurrió probar las propiedades de una sustancia que tenían en el estante, nomás por no dejar. Este grupo, liderado por Jun Akimitsu descubrió que el  $MgB_2$ , un compuesto conocido hace décadas, y disponible comercialmente, presenta superconductividad a 40 K, o sea al doble de la temperatura de los superconductores intermetálicos empleados en la actualidad, a base de niobio y germanio. El  $MgB_2$ , a pesar estar lejos de los 135 K, necesarios para la superconducción en los materiales cerámicos superconductores descubiertos a finales de la década de los ochenta, es mucho más maleable que éstos, además de poseer la ventaja de que la abundancia del boro y del magnesio son, desde luego, mucho mayores que las del niobio y el germanio.

### **Una química fascinante**

#### $(BH_n)_x$

Como ya mencioné, el boro elemental tiene la peculiaridad de estar constituido por cúmulos de 12 átomos que forman icosaedros, como el que se muestra

en la figura 1, y esta tendencia del boro a adoptar formas geométricas fascinantes persiste en muchos de sus compuestos.

El boro forma con el hidrógeno una inmensa cantidad de compuestos binarios conocidos como “boranos”, que contienen desde 2 hasta 20 átomos de boro. Aunque se ha investigado sobre su posible aplicación como combustibles de alta energía y se han utilizado como tales en cohetes, su principal interés ha sido puramente académico debido a la enorme variedad de fascinantes figuras geométricas que adoptan, en la que los enlaces químicos tienen características únicas. En estos compuestos, algunos de los átomos de boro y/o de hidrógeno, se encuentran enlazados con un número de átomos mayor a lo que era posible entender con los modelos de enlace tradicionales. Esto originó el concepto de enlace de tres centros, en los que tres átomos se mantienen unidos por un par de electrones deslocalizado entre ellos. Esta contribución a la comprensión del enlace químico le valió a W.N. Lipscomb, el Premio Nobel de Química en 1976.

Esta “falta” de electrones, caracteriza a muchos compuestos de boro con un comportamiento químico conocido como “acidez de Lewis”. Los ácidos de Lewis (o sustancias en los que alguno de sus átomos no completa a su alrededor un “octeto” de electrones) reaccionan con las “bases de Lewis” (sustancias en las que al menos uno de sus átomos tiene pares de electrones no compartidos). Este comportamiento es muy aprovechado en la química orgánica, que utiliza varios halogenuros de boro, como el  $BF_3$  y el  $BCl_3$  como catalizadores de reacciones en las que se requiere romper un enlace carbono-halógeno (X); el trihalogenuro de boro extrae al ion halogenuro de ese enlace, formando un ión carbonio y el anión  $BX_4^-$ , que sí cumple con la ley del octeto. No sólo esto, sino que en 1979, solamente tres años después de que Lipscomb obtuviera el Premio Nobel por sus contribuciones a la comprensión del enlace químico en los boranos, Herbert C. Brown y George Wittig obtuvieron el codiciado premio, esta vez por la aplicación de los compuestos organoborados en la síntesis orgánica.

Excluyendo al carbono, base de toda la química orgánica, ningún otro elemento de la tabla periódica ha sido un objeto de estudio que haya llevado a dos Premios Nobel en química. Y a juzgar por la estelar presencia del boro en tantos y tan candentes campos de investigación en la actualidad, podría haber más. ■