

LA POSICIÓN DEL HIDRÓGENO Y DEL HELIO EN LA TABLA PERIÓDICA Y SUS PROBLEMAS

Rodolfo Vergne¹; Verónica Félix²

¹Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, UNCuyo/ rvergne@fcail.uncu.edu.ar.

¹Facultad de Filosofía y Letras, UNCuyo / verofelix@gmail.com.

Resumen: La tabla periódica ordena los elementos químicos de acuerdo a dos criterios: el primario, es el número atómico y el secundario son las configuraciones electrónicas. Si bien la ubicación del elemento en la tabla parece explicar sus propiedades periódicas y sus comportamientos, hay numerosas anomalías. Hay dos elementos que se destacan por sus problemas para ubicarlos adecuadamente, son el hidrógeno y el helio. El presente trabajo es una revisión de los principales problemas de ordenamiento de estos elementos y las propuestas de solución. El problema de fondo tiene que ver con los criterios de clasificación. En la actualidad la mecánica cuántica parece explicar la posición de los elementos y la periodicidad de sus propiedades. Pero los problemas que conlleva ese enfoque han provocado las discusiones actuales entre científicos, historiadores, filósofos y educadores. Aparecen otros criterios de clasificación secundaria, como las tríadas de números atómicos y la electronegatividad, entre otros. Estos problemas son ignorados por los manuales de química y por la enseñanza de la ciencia, lo que provoca una imagen inadecuada de la naturaleza de la química. El propósito final es exponer que la periodicidad y la ubicación de los elementos en la tabla no dependen exclusivamente de la mecánica cuántica, sino que hay otros criterios legítimamente válidos.

Palabras claves: Tabla periódica. Hidrógeno. Helio. Número atómico. Mecánica cuántica. Electronegatividad.

INTRODUCCIÓN

La ubicación del hidrógeno y el helio en el sistema periódico es posiblemente el tópico más debatido en el ámbito de los fundamentos de la tabla periódica. Desde hace mucho tiempo existen grandes desacuerdos respecto a la familia de elementos en las que deben incluirse tales elementos. La tabla periódica estándar utilizada en los manuales y en la educación, no muestran las problemáticas teóricas, epistemológicas e históricas que están presentes provocando conflictos de criterios de clasificación y anomalías, es decir, elementos que no acuerdan con algún criterio. En este trabajo mostraremos las principales propuestas históricas de ubicación de estos elementos y sus problemas.

Posteriormente discutimos los criterios de clasificación vigentes, sus alcances y limitaciones.

LA UBICACIÓN DEL HIDRÓGENO Y EL HELIO EN EL SISTEMA PERIÓDICO

El lugar del hidrógeno en la tabla periódica

La cuestión acerca del lugar adecuado para el hidrógeno está presente desde la primera tabla periódica publicada por Mendeleev en 1869, en la que este elemento aparece desconectado de los demás. Su tabla de 1871 muestra al hidrógeno a la cabeza de los metales alcalinos en el grupo I, un lugar que sigue siendo muy popular hasta ahora. En 1906, Mendeleev elaboró su último sistema periódico en el que el hidrógeno conserva el lugar que ocupaba en su tabla anterior, pero ahora el helio aparece sobre la familia de los gases nobles (grupo 0), como suele hacerlo.

Algunos años antes, Thomas Bayley en 1882 y más adelante Julius Thomsen en 1895, diseñaron tablas periódicas en forma de pirámides invertidas. Estos autores representaron el hidrógeno en posición central y lo relacionaron con siete elementos, desde el litio hasta el flúor, mediante líneas. En 1922 Niels Bohr presentó una pirámide invertida a la izquierda similar a las tablas de Bayley y Thomsen, en la que añadió la familia de los gases nobles. El hidrógeno y el helio están próximos y colocados en el centro. Por medio de líneas, el autor conectó el hidrógeno con los metales alcalinos y los halógenos, y consideró al helio como miembro de los gases nobles.

En 1895, J. W. Retgers publicaba una tabla en la que el hidrógeno no se sitúa entre los metales alcalinos, sino encabezando la familia de los halógenos. En el sistema periódico de Irving Langmuir de 1919, el hidrógeno es el primer elemento de los metales alcalinos, pero el helio está ahora duplicado en la familia de los gases nobles y la de los metales alcalinotérreos. Una característica positiva de esta disposición es que ambos elementos se encuentran juntos. En el sistema periódico diseñado por el químico alemán Andreas von Antropoff en 1926, el hidrógeno se sitúa en el centro y se relaciona con el litio y el flúor. En el caso del helio, se coloca en la primera fila junto al hidrógeno y también encabeza el grupo 0, el de los gases nobles, lo cual significa que está duplicado a la izquierda y a la derecha de la tabla.

A modo de resumen, digamos entonces que respecto del hidrógeno, las opciones usualmente consideradas son: a) en el grupo 1 (metales

alcalinos), ya que posee un electrón en la capa de valencia; b) encabezando el grupo 17 (halógenos), dado que los átomos de hidrógeno pueden formar iones negativos, al igual que los elementos de ese grupo; c) en el grupo 14, el grupo del carbono, ya que el hidrógeno muestra la mitad de su capa de valencia completa (2 electrones), al igual que el carbono (4 electrones); d) ubicarlo entre los grupos 13 y 14 cuando se considera como propiedad química su electronegatividad; y finalmente, e) flotando sobre el cuerpo principal de la tabla, debido a las dificultades para integrar un grupo en particular.

El lugar del helio en la tabla periódica

La ubicación del helio también exhibe inconvenientes. ¿Debería permanecer encabezando la familia de los gases nobles, tal como en la tabla tradicional o, por el contrario, debería ser parte de la familia de los metales alcalino-térreos de acuerdo con su configuración electrónica?

A modo de resumen, respecto al helio las opciones usualmente consideradas son: a) en el grupo 18 (gases nobles), por el número de electrones para completar la capa de valencia (tabla convencional), b) en el grupo 2 (alcalinos térreos), por su configuración electrónica externa, c) entre el grupo 18 (gases nobles) y el grupo 2 (alcalinotérreos), tomando en cuenta una combinación de criterios, la mecánica cuántica, la electronegatividad y las tríadas de números atómicos.

DISCUSIONES

La construcción de un sistema periódico requiere de dos pasos o instancias, a saber: 1) ordenar los elementos químicos de acuerdo con su número atómico creciente, lo cual da lugar a la denominada 'línea de Mendeleev'; y 2) la línea de Mendeleev se particiona con el propósito de agrupar elementos en familias químicamente similares. El resultado son los periodos y los grupos.

En la actualidad son varios los candidatos a constituirse en el criterio para clasificar elementos en grupos: la espectroscopía, la electronegatividad, la estructura electrónica, la configuración electrónica, así como las triadas de elementos, un criterio propuesto en los últimos años.

Se ha argumentado que el comportamiento anómalo de los dos primeros elementos del sistema periódico formaría parte de la conocida regla del

primer elemento, según la cual, en su versión simple, el primer elemento de cualquier grupo de la tabla presenta anomalías cuando se compara con el resto de los elementos de su grupo. El hidrógeno es un gas, a diferencia de los demás miembros de la familia de los alcalinos. Sin embargo, en el caso de los gases nobles William Jensen y Henry Bent divergen a la hora de decidir la posición del helio. Para el primer autor, el helio sigue formando parte de los gases nobles, mientras que Bent lo reubica entre los metales alcalinotérreos, de acuerdo con la tabla periódica de escalón izquierdo (Scerri, 2007). A continuación, analizamos los principales criterios de clasificación secundarios actualmente propuestos: las configuraciones electrónicas (mecánica cuántica), la electronegatividad (termoquímica) y las tríadas de números atómicos.

El criterio mecánico cuántico

En general, es ampliamente aceptado que la configuración electrónica externa (o de la capa de valencia) establece el criterio de clasificación secundaria, aunque de manera no tan categórica como el criterio primario dado por el número atómico. El criterio mecánico cuántico –es decir, el uso de orbitales y configuraciones electrónicas popularizado en las representaciones del sistema periódico por L. M. Simmons y V. M. Klechkowskii (Mazurs, 1974)– es el enfoque moderno para explicar la periodicidad química. De acuerdo con el enfoque reduccionista que predomina en el ámbito de la ciencia química, el comportamiento químico de un elemento encuentra su mejor explicación en un dominio de partículas, en particular, vía su configuración electrónica dada por la denominada regla de Madelung–Klechkowskii (o regla $n + l$, donde n y l denotan los dos primeros números cuánticos), la cual brinda el orden en que se completan los orbitales de átomos en fase gaseosa, a saber

:

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d\dots$$

La tesis según la cual la configuración electrónica externa gobierna la química de los elementos se asume, en general, como cosa juzgada e impregna fuertemente la enseñanza del tema. Sin embargo, Scerri (2010) ha destacado que, pese a que la mecánica cuántica proporciona una excelente manera de calcular las propiedades de los elementos individuales, no sucede lo mismo cuando se trata de determinar propiedades globales, vale decir, la membresía de elementos en grupos

particulares. Si bien los elementos en el mismo grupo de la tabla periódica comparten la misma configuración electrónica de la capa externa del átomo, hay excepciones que pueden encontrarse entre los metales de transición (por ej. níquel, paladio y platino en el grupo 10). En este sentido, la mecánica cuántica no ha resuelto satisfactoriamente la posición de estos elementos debido a que *“La periodicidad en las propiedades químicas de los elementos es un tema complejo y sólo se refleja aproximadamente en las configuraciones electrónicas de los átomos”* (Scerri 1991, p.122). Scerri (2007) advierte que *“[...] la posesión de un determinado número de electrones en la capa externa no es condición necesaria ni suficiente para la pertenencia de un elemento en cualquier grupo particular”* (p.242). Un ejemplo de ello es el caso del elemento torio (90), un actinoide perteneciente al bloque f que, sin embargo, presenta la configuración $[Rn] 6d^2 7s^2$. Como afirma Jorgensen (1973, p.14): *“No existe la más mínima duda, sin embargo, de que no existe una relación simple entre la configuración electrónica en el estado basal del átomo neutro y la química del elemento en consideración”*.

El criterio de las tríadas de números atómicos

En los últimos tiempos, Scerri (2010, 2013) ha afirmado que el problema de la posición del hidrógeno y del helio tiene una solución correcta. Este autor propuso un nuevo criterio categorial para resolver la cuestión: la preservación o la creación de nuevas tríadas de elementos. Scerri recupera la idea de tríadas de elementos, propuesta por Johann Döbereiner en 1817, pero ahora con el número atómico en lugar del peso atómico. El resultado de la aplicación de este criterio es que el helio debe permanecer entre los gases nobles, dada la tríada ‘perfecta’ de números atómicos He(2), Ne(10), Ar(18). A su vez, el hidrógeno se convierte en parte de los halógenos, de acuerdo con la tríada H(1), F(9), Cl(17). Sin embargo, el estatus epistemológico de las tríadas de elementos como criterio para resolver esta cuestión es motivo de controversia (cfr. Bent, 2006, Scerri, 2010 & Schwarz, 2010).

El criterio químico de la electronegatividad

Aunque no tan habitual como criterio clasificatorio de elementos en grupos, la electronegatividad ha tenido un renacimiento en los últimos años. Uno de sus principales defensores es Mark Leach (2013), quien defiende firmemente la electronegatividad para explicar la periodicidad química. Por su parte, Geoff Rayner-Canham y Tina Overton (2009)

destacan que, si bien el hidrógeno no tiene un lugar definitivo en el sistema periódico, en base a su valor intermedio de electronegatividad entre los metales alcalinos y los halógenos tiene sentido situarlo entre dichas familias de elementos. Leland Allen (1989) propuso un sistema periódico en tres dimensiones en el que la electronegatividad era, de hecho, la tercera dimensión. Siguiendo el camino abierto por Sanderson en la década de 1960, Cronyn (2003) analiza la similitud del hidrógeno con la familia del carbono, proponiendo que el hidrógeno encabece tal grupo.

Aunque la electronegatividad es un concepto muy útil en la ciencia química desde mediados del siglo pasado, las diferentes escalas de electronegatividad que coexisten en la actualidad muestran que no existe un claro consenso respecto del significado del concepto. La caracterización sobre la naturaleza de la electronegatividad no es clara: ¿es una propensión? ¿es una propiedad o es simplemente una magnitud que tiene propósitos comparativos? Al mismo tiempo, la coexistencia de modelos incompatibles de electronegatividad comienza a despertar el interés de los filósofos de la química, tema que será desarrollado en el siguiente capítulo.

Se ha argumentado que el comportamiento anómalo de los dos primeros elementos del sistema periódico formaría parte de la conocida 'regla del primer elemento', según la cual, en su versión simple, el primer elemento de cualquier grupo de la tabla presenta anomalías cuando se compara con el resto de los elementos de su grupo. El hidrógeno es un gas, a diferencia de los demás miembros de la familia de los alcalinos. Sin embargo, en el caso de los gases nobles William Jensen y Henry Bent divergen a la hora de decidir la posición del helio. Para el primer autor, el helio sigue formando parte de los gases nobles, mientras que Bent lo reubica entre los metales alcalinotérreos, de acuerdo con la tabla periódica de escalón izquierdo (Scerri, 2007).

Combinación de criterios secundarios

Otra línea argumentativa ha sido propuesta recientemente por Labarca y Srivaths (2016) para elucidar el problema. Identificados los tres criterios principales para clasificar elementos en grupos, los autores se preguntan qué criterio categorial debería favorecerse: ¿las configuraciones electrónicas, la electronegatividad o las tríadas de número atómico? La situación luce como un trilema. Sin embargo, si se admite que ninguno de los tres candidatos tiene prioridad explicativa, es decir, si ninguno de ellos proporciona un modo inequívoco de clasificar

los elementos en grupos, es razonable preguntarse entonces por qué debería privilegiarse un único criterio. Esto los conduce a la siguiente pregunta: ¿por qué no una nueva disposición en la que se consideren simultáneamente los principales criterios secundarios? En otras palabras, ¿es posible un nuevo y positivo criterio secundario para decidir la ubicación del hidrógeno y el helio en el sistema periódico?

A la luz de estos argumentos, los autores sugieren una suerte de 'relación democrática' entre los tres criterios secundarios: configuraciones electrónicas, electronegatividad y tríadas de número atómico. Esto significa resistirse a comprometer tanto al hidrógeno como al helio con cualquier criterio de clasificación en particular. Pero, al mismo tiempo, esto implica que ni el hidrógeno flota 'a la Atkins' (Kaes z y Atkins, 2003) ni que ambos elementos están desconectados del resto de los elementos. Por el contrario, en la nueva disposición propuesta ambos elementos "*tienen un pie en cada uno de los criterios*", parafraseando y ampliando la afirmación de Michael Laing (2007, p.132).

Por tanto, la nueva tabla tiene en cuenta los tres criterios principales propuestos para resolver la posición de los dos primeros elementos: la mecánica cuántica, la electronegatividad y las tríadas de número atómico. Esto implica que todos ellos tienen el mismo estatus epistemológico, hasta nuevos argumentos o nueva evidencia a analizar. Esta alternativa permite preservar información y, al mismo, tiempo, exhibir la ontología química y la ontología de partículas, las que suelen asumirse mutuamente irreconciliables. En la nueva tabla periódica el hidrógeno se encuentra entre los metales alcalinos y los halógenos, mientras que el helio se ubica entre los gases nobles y los elementos alcalinotérreos. Esta posición ha sido objetada por algunos autores (Cvetković y Petruševski, 2017, Scerri, 2017) y replicada por Labarca y Srivaths (2017).

CONCLUSIONES

Hemos mostrado las distintas ubicaciones otorgadas al hidrógeno y al helio en distintas tablas periódicas. Hemos analizados los criterios empleados, visto sus anomalías e incompatibilidades. Lamentablemente no hay conciencia de los conflictos epistemológicos presentes en la educación química al no advertir que se enseña una tabla periódica con anomalías en sus criterios de clasificación. El conflicto de fondo es la incompatibilidad teórica entre la física y la química. De acuerdo con la visión reduccionista que predomina en la química, el comportamiento

químico de un elemento encuentra su mejor explicación en un dominio de partículas, en parte, por su configuración electrónica externa. Puede haber otros criterios de clasificación desde la química, como la electronegatividad, pero también tiene sus limitaciones. Para el tema de la tabla periódica la filosofía de la química puede apostar a un pluralismo epistemológico y proponer un equilibrio de criterios, ya que no hay ninguna prioridad ontológica y cada dominio tiene su ámbito de aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer al Dr. Martículoín Labarca y al Dr. Ernesto Calderón, directores de tesis de doctorado en la Universidad Nacional de Tres de Febrero y en la Universidad Nacional de Cuyo.

REFERENCIAS

- Allen, L. C (1989). Electronegativity is the average one-electron energy of the valence-shell electrons in ground-state free atoms. *Journal of American Chemical Society*, 111(25), 9003-9014. <https://doi.org/10.1021/ja00207a003>
- Bent, H. A. (2006). *New Ideas in Chemistry from Fresh Energy for the Periodic Law*. Author House.
- Cronyn, M. W. (2003). The proper place for hydrogen in the periodic table. *Journal of Chemical Education*, 80(8), 947-951. <https://doi.org/10.1021/ed080p947>
- Cvetković, J. & Petruševski, V. (2017). On the placement of hydrogen and helium in the periodic system: A comment. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 26(2), 167-170.
- Jorgensen, C. K. (1973). The loose connection between electron configuration and the chemical behavior of the heavy elements. *Angewandte Chemie International Edition*, 12(1), 12–19. <https://doi.org/10.1002/anie.197300121>
- Kaeszi, H. & Atkins, P. (2003). A central position for hydrogen in the periodic table. *Chemistry International -- Newsmagazine for IUPAC*, 25(6), 14-14. <https://doi.org/10.1515/ci.2003.25.6.14>

- Labarca, M. & Srivaths, A. (2016). On the placement of hydrogen and helium in the periodic system: A new approach. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 25(4), 514-530.
- Labarca, M. y Srivaths, A. (2017). On the placement of hydrogen and helium in the periodic system: A response to Cvetković and Petruševski. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 26(5), 663-666.
- Laing, M. (2007). Where to put hydrogen in a periodic table?. *Foundations of Chemistry*, 9(6), 127-137. <https://doi.org/10.1007/s10698-006-9027-5>
- Leach, M. (2013). Concerning electronegativity as a basic elemental property and why the periodic table is usually represented in its medium form. *Foundations of Chemistry*, 15, 13-29. <https://doi.org/10.1007/s10698-012-9151-3>
- Mazurs, E. G. (1974). *Graphic representations of the periodic system during one hundred years* (2nd edition). University of Alabama Press.
- Rayner-Canham, G. & Overton, T. (2009). *Descriptive inorganic chemistry*. W. H. Freeman y Co.
- Scerri, E. R. (1991). Chemistry, spectroscopy, and the question of reduction. *Journal of Chemical Education*, 68(2), 122-126. <https://doi.org/10.1021/ed068p122>
- Scerri, E. R. (2007). *The Periodic Table: Its Story and Its Significance*. Oxford University Press.
- Scerri, E. R. (2010). Explaining the periodic table, and the role of chemical triads. *Foundations of Chemistry*, 12(1), 69-83. <https://doi.org/10.1007/s10698-010-9082-9>
- Scerri, E. R. (2013). *La tabla periódica: una breve introducción* (M. Paredes Larrucea, Trans.). Alianza. (Original work published 2011).
- Scerri, E. R. (2017). A comment on the Srivaths-Labarca periodic table. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 26(5), 667-671.
- Schwarz, W. H. E. (2010). The full story of electron configurations of the transition elements. *Journal of Chemical Education*, 87(4), 444-448. <https://doi.org/10.1021/ed8001286>

* * * * *