

El problema del grupo 3 de la Tabla Periódica: su enseñanza mediante la argumentación y la explicación científica: segunda parte

The problem of group 3 in the Periodic Table: teaching it through argumentation and scientific explanation: part II

 Martín Labarca¹

 Mario Roberto Quintanilla-Gatica²

 Mercé Izquierdo-Aymerich³

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad de Buenos Aires, Argentina. Autor Correspondiente: mlabarca@conicet.gov.ar

²Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

³Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales, Barcelona, España.

Resumen: En un artículo anterior presentamos como caso de estudio el actual problema de la membresía del grupo 3 de la tabla periódica, visibilizando las distintas interpretaciones científico-filosóficas y sus propuestas de solución. En esta segunda parte, el propósito es brindar algunas ideas fundamentadas en la investigación en didáctica, historia y filosofía de la química que destacan el valor de la argumentación y la explicación como habilidades cognitivo-lingüísticas y competenciales para comunicar los problemas filosóficos e históricos que son propios en la construcción de conocimiento químico. El debate sobre el grupo 3 de la tabla periódica es un buen ejemplo de una reflexión teorizada en la que están inmersos los investigadores de la tabla periódica en la actualidad, y este trabajo sugiere algunas estrategias para su enseñanza y aprendizaje.

Palabras clave: Tabla periódica; Filosofía de la química; Historia de la química.

Abstract: In a previous article we introduced as a case study the current problem of the membership to group 3 in the periodic table, making visible the different scientific-philosophical interpretations and their proposed solutions. In this second part, the aim is to provide some ideas based on research into didactic, history, and philosophy of chemistry that highlight the value of argumentation and explanation as cognitive-linguistic skills and competences to communicate the philosophical and historical problems that are inherent in the construction of chemical knowledge. The debate on group 3 in the periodic table is a good example of a theorized reflection in which researchers of the periodic table are currently immersed, and this work points to some strategies for its teaching and learning.

Keywords: Periodic table; Philosophy of chemistry; History of chemistry.

Recebido em: 18/07/2021

Aprovado em: 29/11/2021



Introducción

La investigación en didáctica, historia y filosofía de la química destaca el valor didáctico de la argumentación y de la explicación como estrategia para que los alumnos reflexionen sobre los problemas filosóficos e históricos que son propios de una disciplina (la química en nuestro caso) y, con ello, comprendan mejor el significado de sus conceptos teóricos y prácticos (IZQUIERDO-AYMERICH *et al.*, 2016). Para ello deben poder participar en problemas reales a través de los cuales se debaten diversas alternativas y nuevas ideas que transforman los conocimientos, abriendo nuevas perspectivas. Debido a ello, los docentes han de estar atentos a identificar situaciones en las cuales la argumentación y la explicación aporten recursos para pensar y, con ello, contribuir a que los alumnos profundicen en el tema que se les presenta y que ha sido controversial en la historia de la química (CHAMIZO, 2010, 2018). En este sentido, consideramos que el debate sobre el grupo 3 de la tabla periódica es un buen ejemplo de una reflexión en la que están inmersos los investigadores de la tabla periódica en la actualidad y que aún está abierta a nuevas controversias. Los estudiantes pueden aportar sus conocimientos al argumentar las diferentes soluciones para llegar a una conclusión suya, genuina. Y pueden poner a prueba su conclusión al elaborar explicaciones que convenzan y que resistan la crítica de sus pares y profesores habituados a una química de símbolos y fórmulas que los estudiantes no logran comprender del todo. Con ello contribuimos a desarrollar competencias de pensamiento científico en los estudiantes (QUINTANILLA, 2012).

Los aportes de las ciencias cognitivas ponen de relieve que los conocimientos que se aprenden de manera competente pueden ser utilizados por el estudiante en situaciones y condiciones diversas, debido a que los ha elaborado a partir de su propia actividad cognitiva puesta a prueba en las situaciones problemáticas y abiertas que se le plantean en clase. (CAMACHO; QUINTANILLA, 2008). Con ello, alumnos y profesores enriquecen y profundizan sus conocimientos, interpretan la realidad para luego recrearla en otros contextos y transformarla mediante el razonamiento teórico que modeliza, e interpreta el mundo de manera teórica (IZQUIERDO-AYMERICH; CAAMAÑO; QUINTANILLA, 2007). Por ejemplo, la idea de vacío, los viajes espaciales o la investigación en células madre puede ser, para el alumno, algo académico con informaciones magistrales o ser algo vital, si le proporcionamos situaciones que le implican y demandan tomar alguna decisión personal que le permita interpretar el mundo con argumentos y explicaciones propias.

Sobre la base de este objetivo, hemos presentado como caso de estudio para promover la argumentación y la explicación científica el actual y candente problema de la membresía en el grupo 3 de la tabla periódica de los elementos (véase la Primera Parte de este trabajo). Para ello, deben plantearse los debates en el marco adecuado de modo que los alumnos comprendan el problema y las controversias que se mantienen abiertas al respecto. Así, pueden participar en el debate tanto si se trata de argumentar como de explicar, para llegar a conclusiones fundamentadas a partir de un nuevo conocimiento, reflexivo y crítico que les proporciona ideas nuevas con retos intelectuales valiosos que contribuirán a un aprendizaje de la química interesante para ellos y ellas.

Argumentación y explicación en la enseñanza de las ciencias

La argumentación y la explicación científica son habilidades cognitivo-lingüísticas (HCL) que se han desarrollado a lo largo de la historia al configurar los textos científicos: sus leyes, sus conceptos, sus ejemplos (CAMACHO; QUINTANILLA, 2008; CHAMIZO, 2010, 2018). Sin embargo, es necesario investigar cómo contribuyen estas HCL al desarrollo del pensamiento del estudiantado y a la formación del profesorado de ciencias (ABRAMS; SOUTHERLAND, 2001; BERLAND; McNEILL, 2012; BRAATEN; WINDSCHITL, 2011; OSBORNE; PATTERSON, 2011, 2012). Para Osborne y Patterson (2011) esta falta de claridad en torno al concepto de argumentación y explicación científica constituye una debilidad teórica y práctica en el campo de la educación y de la formación del profesorado de ciencias. Una de las maneras de superarla es llevar a cabo actividades docentes bien diseñadas en las que sea necesario argumentar y explicar y se analicen los resultados obtenidos. Al respecto, González (2002) destaca que, al referirnos a las variedades de explicación científica, puede orientarse la reflexión en dos planos diferentes: primero, cómo concebir la explicación científica en términos de su estatuto y características; y segundo, atendiendo a las distinciones conceptuales según su contenido específico, vinculadas a cómo es concebida por la comunidad científica.

Según Ohlsson (2002), para poder diferenciar la explicación de la argumentación se debe considerar que la primera está referida a otorgar sentido a un 'explanandum', por tanto, debe contener en la formulación de la pregunta una alusión explícita al 'fenómeno' o 'caso' que se requiere explicar y la segunda, en cambio, es una práctica que consiste en defender un punto de vista a un determinado público (KUHN, 1993). Los argumentos son más complejos que las explicaciones (YANG; WANG, 2014), ya que éstas últimas apuntan a describir como ocurren los fenómenos, mientras que los argumentos se enfocan en justificar y debatir la validez de una explicación científica en escrutinio, en un determinado momento de la historia de la ciencia. En este sentido, la base de la argumentación que nos aporta Toulmin (2003) establece al menos tres tipos de metodologías científicas que la ciencia ha utilizado para resolver sus problemas a través de la historia: (i) mejorar las representaciones teóricas, (ii) introducir nuevos lenguajes, (iii) refinar los métodos de intervención experimental.

La confusión ocurre precisamente cuando algunas explicaciones pueden servir para dar fuerza o sustento a un argumento en particular (OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; OSBORNE; PATTERSON, 2011, 2012). Aunque se reconoce que, efectivamente, existen explicaciones que llegan a constituir también argumentos, destacan sin embargo la necesidad de distinción de ambos, sobre todo por el 'valor educativo' que implica el reconocer a ambas prácticas científicas como diferentes y para separar el acto de construir una explicación y el acto de involucrar en un argumento. Sostienen que es un error construir explicaciones y argumentos sin distinguir entre ellos, entendiendo que estos responden a objetivos diferentes, por lo tanto, es un desafío contribuir con la precisión en vez de fusionarlos y provocar imprecisiones. Para Jiménez-Aleixandre y Puig (2010), la argumentación, en cambio, es una práctica que consiste en una afirmación con una justificación para defender un punto de vista a un determinado público, la que trasciende a una dominio o contenido en particular y que se vincula con la inteligencia del sujeto (ERDURAN; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2012). Así, plantean que esta vinculación, a veces simplista, ha llevado muchas veces a confusiones equívocas

que ameritan una profundización para precisar cómo ellas interactúan en el desarrollo del pensamiento y en la formación del profesorado de ciencias y del estudiantado en particular (ERDURAN; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2012; ERDURAN, OZDEM; PARK, 2015; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; PUIG, 2010). Para Chamizo (2007) hay diferentes formas de argumentar según el campo de conocimiento en el que se construye el argumento, lo que implica que estas distinciones son inherentes a la naturaleza específica del saber (biología, física, química, filosofía, ética).

Del mismo modo la argumentación, contribuye a hacer públicos procesos cognitivos complejos, promoviendo y desarrollando el pensamiento crítico, que colabora en una educación ciudadana responsable capaz de participar en decisiones sociales y favorece ideas sobre naturaleza de la ciencia que demuestra la complejidad de esta cultura científica. (GARRITZ, 2009; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2002).

Considerando lo señalado anteriormente, el principal objetivo de este trabajo lo constituye la reflexión sobre una propuesta docente que tiene como objetivo favorecer el tránsito desde una cultura reproductiva de la tabla periódica (según la cual ésta se enseña sin ponerla en cuestión) hacia una enseñanza de la argumentación y la explicación en química que promueva la interacción entre los sujetos que aprenden y los objetos de conocimiento que se ponen en juego de manera problematizadora. Para ello, se pretende diseñar una propuesta docente centrada en un debate sobre el grupo 3 de la tabla periódica.

Perspectiva histórica y filosófica de las controversias sobre el grupo 3: enseñar a explicarlas y a argumentarlas

La tabla periódica (TP) es uno de los ejemplos más relevantes de relación entre la docencia y la construcción de conocimiento: la necesidad de ordenar los elementos para poder comunicarlos de manera eficaz condujo a buscar relaciones fundamentadas entre los diferentes fenómenos químicos, que tomaron la forma de leyes y teorías, las cuales, a su vez, proporcionaron nuevas maneras de mirar abriendo nuevos horizontes. Por ello, no sólo es necesario que el estudiantado conozca la TP, puesto que les ayuda a aprender química, sino que es conveniente que participen en debates que la convierten en un instrumento para reflexionar sobre lo que es la ciencia (LABARCA; QUINTANILLA, 2019).

En la primera parte de este trabajo se expuso un caso de estudio actual, en el que se debate qué elementos deberían integrar el grupo 3 del sistema periódico. A continuación, vamos a exponer los fundamentos históricos y filosóficos que se han de tener en cuenta en este debate.

A finales del siglo XIX, los profesores de química se enfrentaban al problema de tener que *explicar* el comportamiento de un número creciente de sustancias de manera excesivamente individualizada, sin un esquema de base que permitiera ordenarlas. La historia ha destacado a dos de ellos, Lothar Meyer, en Alemania y Dmitri Mendeleev, en Rusia. Ambos, preocupados por la docencia y descontentos con los manuales de que disponían, escribieron sus propios libros de texto procurando que los conocimientos aparecieran de una manera clara, lógica y sistemática. Lo hicieron ordenando las sustancias simples según el orden creciente de sus masas atómicas, que estaban ya bien establecidas. Sin embargo, hay grandes diferencias entre las dos aportaciones. Al igual que Lavoisier, Meyer no distinguía entre sustancias simples y elementos, y pensaba

que las analogías que se ponían en evidencia entre las sustancias simples de un grupo eran debidas a un elemento aún no descubierto que tenían en común. Mendeleev, en cambio, defendía la individualidad de los diferentes elementos, que diferenciaba de las sustancias simples. Nos dice:

Al igual que antes de Laurent y Gerhardt se usaron indistintamente las palabras átomo, molécula y equivalente, actualmente se confunden a menudo las expresiones cuerpo simple y elemento. [...] Un cuerpo simple es algo material, metal o metaloide, dotado de propiedades físicas y capaz de intervenir en reacciones químicas. A la expresión 'cuerpo simple' corresponde la idea de molécula [...] Es menester reservar, sin embargo, el nombre de elemento para caracterizar las partículas materiales que forman los cuerpos simples y compuestos y que determinan la forma en que se comportan desde el punto de vista físico y químico. La palabra elemento evoca la idea de átomo (BENSAUDE-VINCENT, 1998, p. 515-516).

Para Mendeleev, la explicación de las analogías entre los elementos de un mismo grupo era debida a la ley general que él formuló a partir de la regularidad que se había puesto de manifiesto: la repetición periódica de propiedades químicas que no se podían atribuir a las sustancias simples sino a los elementos porque tenían que ver con la manera de reaccionar. Por esto Mendeleev le dio un gran valor, porque con ella tomaban significado el conjunto de sistemas químicos: "La ley periódica posee los hechos y tiende a profundizar en el principio filosófico que preside la naturaleza misteriosa de los elementos" (BENSAUDE-VINCENT, 1998, p. 515-516). Esta ley es el fruto de una intuición genial que convierte a Mendeleev en un genio de la química. Su aportación va mucho más allá de ordenar y clasificar y por ello debe conservar su lugar central en la docencia de la química. Con ello, las muchísimas piezas que se tenían que ordenar encajaron unas en las otras para dar lugar a un Sistema General del Cambio Químico.

Las propiedades de los cuerpos simples y compuestos dependen de una función periódica de los pesos atómicos de los elementos, por la única razón de que estas propiedades son en sí mismas las propiedades de los elementos de los que derivan dichos cuerpos (BENSAUDE-VINCENT, 1998, p. 515-516).

Así pues, una cosa son las propiedades de las sustancias y otra, la de los elementos. El punto de fusión, por ejemplo, corresponde a la sustancia simple; la valencia, al elemento.

Bensaude-Vincent afirma que Mendeleev ordenó los elementos y formuló la ley periódica debido a una urgencia pedagógica. Le gustaba explicar que lo hizo jugando y soñando; vale la pena tenerlo en cuenta para captar la importancia que tiene la docencia (y las emociones que la acompañan siempre) en la estructuración de las disciplinas, dando un fruto tan notable como el que estamos comentando.

La TP actual ya no es la de Mendeleev, en el sentido de que el criterio de identificación de los elementos está dado por su número atómico y no por el peso atómico. La estructura atómica que se debatía a comienzos del siglo XX debía explicar lo que los químicos ya sabían referentes a cómo reaccionaban entre si las sustancias. Se supuso una estructura cuántica, adaptada a un átomo solitario e inexistente para la química hasta aquel momento. Este nuevo átomo surge esplendoroso y ocupa el lugar del átomo químico, aquel que se intuye a partir del comportamiento de los elementos

en la tabla. Ahora aceptamos que los átomos que ocupan una determinada posición en la TP, todos ellos con un mismo número de protones en el núcleo, son los que forman el elemento químico correspondiente, que podemos obtener como la sustancia simple con la que ha trabajado la química desde siempre.

Ha sido la ley periódica la que ha hecho imaginar un átomo 'de capas de electrones' cuya estructura que se va comprendiendo a partir de la primera aproximación de Niels Bohr, quien intenta explicar la periodicidad de las propiedades, reconocible en los períodos que configuran la tabla, a partir de los espectros atómicos. El modelo de átomo cuántico ha ido adquiriendo protagonismo en la manera de pensar de los químicos. Ellos contribuyeron a adaptarlo a los fenómenos químicos, enriquecidos con los fenómenos radioactivos, e idearon nuevas tecnologías de análisis y de síntesis que permiten 'ver' lo más pequeño. La química y la física colaboran, aún ahora, en la búsqueda de un fundamento mecánico-cuántico adecuado para profundizar en una mayor comprensión de estos fenómenos que en el aula se enseñan de manera instrumental y reduccionista (LABARCA; QUINTANILLA, 2019).

Por ello es importante que los alumnos de química se den cuenta de que la química no se deduce sin más de la estructura física del átomo y que no es posible explicar el comportamiento de las sustancias a partir de los elementos/átomos que las forman. La ley periódica es una ley aproximada, como lo son la mayoría de las leyes químicas. Implicar a los alumnos en el debate sobre el grupo 3 de la TP proporciona una excelente ocasión para que aprendan a argumentar y a explicar, puesto que así es como se desarrolla y se ha desarrollado la ciencia en la historia humana.

Actividad de aprendizaje: argumentar y explicar el problema del grupo 3

El diseño que se propone preliminarmente (ver **Anexo 1**) se ha inspirado en base a otras actividades de argumentación y explicación (AGUDELO, 2019; GUZMÁN; ROSALES, 1996; LINARES; IZQUIERDO-AYMERICH, 2007; RAMOS, 2020). Así, nuestra aportación se fundamenta en haberlos utilizado para dar un paso más y aplicarlo en el diseño de una nueva actividad de argumentación y explicación sobre un tema actual y complejo, con implicación tanto en la química como en la filosofía de la química.

El debate al que se *pretende invitar* a los alumnos, relativo a la composición del grupo 3 del sistema periódico, requiere de un enfoque histórico-filosófico como el que acabamos de presentar y se plantea con la intención de que esta perspectiva favorezca una profundización en el estudio de la tabla periódica, al no limitarse a una transmisión de información sino a promover la argumentación y la construcción de explicaciones en el aula de ciencias. El aporte de los estudios meta científicos (historia y filosofía de la ciencia) permitirá al alumnado ver la ciencia como un sistema de conocimiento vivo, que se modifica constantemente en función de nuevas aportaciones, de nuevas preguntas y de dudas razonables que pueden conducir a nuevos descubrimientos. Ejercitarán así en la clase de química sus habilidades cognitivo-lingüísticas elaborando textos argumentativos y explicaciones que transformarán la clase en un auténtico foro de discusión sobre la TP.

El *objetivo de aprendizaje* de esta actividad docente es que el alumno pueda llegar a una *conclusión argumentada acerca del debate respecto de la composición del grupo 3 del sistema periódico*. Esto implica adoptar una posición favorable o desfavorable al reemplazo del La y del Ac por el par Lu y Lr, o bien si decide adoptar una posición neutral,

manteniendo juntos los lantanoides y los actinoides en dos bloques de elementos. No todos alumnos han de cerrar el debate de la misma manera, pero todos ellos han de poder fundamentar de manera teórica sus argumentos. Deberán elaborar un texto argumentativo según el esquema: *Mi decisión es... mis razones son... en favor de ellas... podría convencer a alguien que no esté de acuerdo... presentaría como prueba en su favor...* Detalles sobre el tema en Merino, Arellano e Izquierdo-Aymerich (2008).

La conclusión ha de dar lugar a un *texto explicativo* siguiendo su estructura prototípica: el planteamiento del caso, las razones bien secuenciadas para que desemboquen en la conclusión y el cierre que muestra de manera convincente la explicación que resolvería el problema. Para que el debate tenga sentido es necesario un *contexto* adecuado, ya que es poco probable que la ubicación del La y el Ac en la tabla preocupe al alumnado, aunque sean de nivel universitario. Es necesario que 'se vean' los elementos de transición interna llamados 'tierras raras' (los lantanoides) y los llamados actinoides, radioactivos y casi todos artificiales. Los primeros son poco conocidos, sus nombres suenan pintorescos: prometio, gadolinio, disprosio...frente a los familiares plomo, mercurio, oxígeno, etc. Son difíciles de obtener, aparecen mezclados en rocas muy diversas, pero son bastante abundantes y se va viendo que son muy útiles. En el caso de los lantanoides, la mayoría son artificiales y tienen un tiempo de vida media muy pequeño.

Teniendo todo ello en cuenta, algunos autores consideran entonces que el par Lu–Lr debería reemplazar al par La–Ac en el grupo 3 por debajo del Sc y del Y. Otros autores, por el contrario, sobre la base del comportamiento químico concluyen que es mejor preservar el conjunto de todos los elementos que integran la serie de los lantanoides y de los actinoides por separado. Esto implicaría entonces dos filas de 15 elementos *f*, La–Lu y Ac–Lr, en lugar de los 14 elementos como se observa en la tabla que publica la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) en su sitio web. Aquí el alumnado ha de replantearse las distintas alternativas expuestas con sus propias palabras, para apoderarse del problema, y decidir, por ejemplo, si la configuración electrónica anómala del Lr (103) merece ser determinante en el debate o bien valorar la aportación de una tabla periódica de longitud extendida (32 columnas) muy hermosa, por cierto. Como profesores, ¿nos aferramos a una representación del sistema periódico en el que la configuración electrónica de los elementos muestra sus limitaciones como es este el caso? ¿Cómo decidimos nuestras secuencias de enseñanza? ¿Para qué finalidades de la enseñanza de la química?

Conclusiones finales

A partir del debate generado entre químicos y filósofos de la química acerca de los elementos que deberían conformar el grupo 3, se evidencia la importancia que tiene enseñar a argumentar acerca de una cuestión abierta y relevante y, asimismo, explicar por qué es mejor una respuesta que otra supone enseñar cómo elaborar textos argumentativos y explicaciones y del mismo modo enseñarle al estudiantado a cómo enfrentarse a resolver un problema científico (LABARRERE; QUINTANILLA, 2002). Sin embargo, a menudo la importancia de la tabla periódica para la enseñanza de la química ha funcionado en contra de esta misma enseñanza. Esto ocurre cuando se ha obligado a aprenderla de memoria, cuando se la presenta como algo ya acabado, anacrónico, sin

una historia interesante de conflictos, disputas teóricas y metodológicas y sin discusión, olvidando que el encaje de las piezas que la componen (las propiedades de los átomos, las propiedades de las sustancias) plantea retos constantes a la investigación en química.

Creemos también que es necesario resaltar que, aunque la controversia expuesta en este trabajo pueda parecer una discusión meramente conceptual, tiene un impacto directo en la forma en que se enseña la tabla periódica en los distintos niveles de enseñanza. Este cambio ha tenido un gran impacto en la manera de enseñar la química. ¿Se ha de enseñar la química del mol (compleja, que ha de saber reconocer entidades invisibles en la complejidad sensorial de las reacciones) o la química de átomo cuántico caracterizado por unos números que (idealmente) lo dicen todo acerca de su comportamiento químico?

El enfoque moderno consiste en explicar el comportamiento químico de un elemento sobre la base de una ontología de partículas, en particular, vía la configuración electrónica en el estado basal del átomo neutro. Esto conduce a que muchos químicos y educadores en química acepten (y enseñen) el tradicional supuesto según el cual la tabla periódica no es más que una tabla de configuraciones electrónicas. En este sentido, creemos que el problema del grupo 3 es sumamente útil para desmontar este supuesto mostrando, precisamente, los alcances y las limitaciones que la mecánica cuántica presenta para explicar la química de los elementos. Por lo tanto, incorporar aspectos histórico-epistemológicos en la enseñanza de la química, con un diseño didáctico, no sólo nos hace aplaudir nuevas maneras de enseñar la temática, sino que, fundamentalmente, enriquece la actividad científica escolar haciéndola crítica y antidogmática.

Agradecimientos

Los autores agradecen las sugerencias de los dos evaluadores anónimos. Martín Labarca agradece a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT) (PICT-2018-04519), a la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020190200097BA) y a la Universidad Austral de Argentina. Mario Quintanilla agradece el patrocinio de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Católica de Chile durante su período sabático.

Referencias

ABRAMS, E.; SOUTHERLAND, S. The how's and why's of biological change: how learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, Abingdon, v. 23, n. 12, p. 1271-1281, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690110038558>.

AGUDELO, C. La función de la tabla periódica en los libros de texto: ¿Clasificación de los átomos o herramienta de pensamiento químico? *Alambique*, Barcelona, n. 97, p. 51-56, 2019.

BENSAUDE-VINCENT, B. Mendeleiev: historia de un descubrimiento. In: SERRES, M. (org.). *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra, 1998. p. 503-525.

BERLAND, L.; McNEILL, K. For whom is argument and explanation a necessary distinction?: a response to Osborne and Patterson. *Science Education*, Hoboken, v. 96, n. 5, p. 808-813, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21000>.

BRAATEN, M.; WINDSCHITL, M. Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, Hoboken, v. 95, n. 4, p. 639-669, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20449>.

CAMACHO, J.; QUINTANILLA, M. Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivas lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 14, n. 2, p. 197-212, 2008. DOI: <https://doi.org/cc2vfh>.

CHAMIZO, J. A. *Química general: una aproximación histórica*. México: Ediciones UNAM, 2018.

CHAMIZO, J. A. (org.). *Historia y filosofía de la química: aportes para la enseñanza*. México: Siglo XXI, 2010.

CHAMIZO, J. Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 25, n. 1, p. 133-146, 2007.

ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. Argumentation in science education research. In: JORDE, D.; DILLON, J. (org.). *Science education research and practice in Europe*. Rotterdam: Sense, 2012. p. 253-289.

ERDURAN, S.; OZDEM, Y.; PARK, J-Y. Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. *International Journal of STEM Education*, Heidelberg, v. 2, n. 5, p. 1-12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0020-1>.

GARRITZ, A. Argumentación en una nueva asignatura: ciencia y sociedad. *Educación Química*, México, v. 20, n. 2, p. 98-101, 2009.

GONZÁLEZ, W. J. *Diversidad de la explicación científica*. Barcelona: Ariel, 2002.

GUZMÁN, M.; ROSALES, G. Enseñanza de la tabla periódica. *Educación Química*, México, v. 7, n. 3, p. 150-155, 1996.

IZQUIERDO-AYMERICH, M.; CAAMAÑO, A.; QUINTANILLA, M. *Investigar en la enseñanza de la química: nuevos horizontes: modelizar y contextualizar*. Barcelona: Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales: Universidad Autónoma de Barcelona, 2007.

IZQUIERDO-AYMERICH, M.; GARCÍA, A.; QUINTANILLA, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá: Ediciones DIE, 2016.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. Knowledge producers or knowledge consumers?: argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, Abingdon, v. 24, n. 11, p. 1171-1190, 2002.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; PUIG, B. Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique*, Barcelona, v. 63, p. 11-18, 2010.

KUHN, D. Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, Hoboken, v. 77, n. 3, p. 319-337, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.3730770306>.

LABARCA, M.; QUINTANILLA, M. El reduccionismo y sus límites: el problema del grupo 3 de la tabla periódica. In: MERINO, C. (org.). *Actas del XVI Encuentro Educación Química 2019*. [Santiago]: Sociedad Chilena de Química, 2019. p. 192-193.

LABARRERE, A.; QUINTANILLA, M. La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo*, Santiago de Chile, v. 30, p. 121-138, 2002. Recuperado el 17 mar. 2022 de: <http://ojs.uc.cl/index.php/pel/article/view/26397>.

LINARES, R.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. La tabla periódica en el Journal of Chemical Education en el siglo XX. *Tecné, Episteme y Didaxis*, Bogotá, v. 21, p. 7-23, 2007. DOI: <https://doi.org/10.17227/ted.num21-354>.

OHLSSON, S. Generating and understanding qualitative explanations. In: OTERO, J.; LEÓN, J. A.; GRAESSER, J. A. (org.). *The psychology of science text comprehension*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2002. p. 91-128.

OSBORNE, J.; ERDURAN, S.; SIMON, S. Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, Hoboken, v. 41, n. 10, p. 994-1020, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.20035>.

OSBORNE, J.; PATTERSON, A. Scientific argument and explanation: a necessary distinction? *Science Education*, Hoboken, v. 95, n. 4, p. 627-638, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20438>.

OSBORNE, J.; PATTERSON, A. Authors' response to "For whom is argument and explanation a necessary distinction?: a response to Osborne and Patterson". *Science Education*, Hoboken, v. 96, n. 5, p. 814-817, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21034>.

QUINTANILLA, M. (org.). *Las competencias de pensamiento científico desde las emociones, sonidos y voces del aula*. Santiago de Chile: Bellaterra, 2012.

RAMOS, A. ¿Cómo se puede usar el celular como pretexto para enseñar la tabla periódica? *Educación Química*, México, v. 31, n. 1, p. 49-61, 2020.

TOULMIN, S. E. *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

YANG, H. T.; WANG, K. H. A teaching model for scaffolding 4th grade students' scientific explanation writing. *Research in Science Education*, Hoboken, v. 44, n. 4, p. 531-548, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9392-8>.

ANEXO 1 - Actividad de aprendizaje y evaluación AEG-3

Introducción para el profesorado de química

Los conceptos de tabla periódica, sistema periódico, periodización y elemento se han enseñado de manera instrumental operativa y exclusivamente conceptual en un enfoque tradicional y ahistórico en el currículum, pasando a ser un contenido casi anecdótico y de carácter memorístico. Se omite, acaso por desconocimiento o derivado de una visión anacrónica, cómo se han ido reconfigurando a través de la historia de la química sus diferentes versiones u orientaciones educativas de cómo propiciar pensamiento competencial en el estudiantado. Estas oportunidades (y conocimientos) no abordadas en la clase (controversias, polémicas, formatos) pueden contribuir significativamente a que nuestros estudiantes aborden el aprendizaje de la química a partir de razonamientos superiores, favoreciendo así una mayor comprensión de su significado científico. El debate al que se pretende invitar a los alumnos, relativo a la composición del grupo 3 del sistema periódico, requiere de un enfoque histórico-filosófico como el que acabamos de presentar y se plantea con la intención de que esta perspectiva favorezca una profundización en el estudio de la tabla periódica, al no limitarse a una transmisión de información sino a promover la argumentación y la construcción de explicaciones en el aula de ciencias. El aporte de los estudios meta científicos (historia y filosofía de la ciencia) permitirá al alumnado ver la ciencia como un sistema de conocimiento vivo, que se modifica constantemente en función de nuevas aportaciones, de nuevas preguntas y de dudas razonables que pueden conducir a nuevos descubrimientos. A través de las meta ciencias como la Naturaleza de la Ciencia (NOS) y la Historia y Filosofía de la Ciencia (HPS) han surgido estrategias metodológicas fundamentadas desde la Didáctica de la Ciencia, a fin de enriquecer y problematizar la construcción del conocimiento científico escolar y con valor para la educación científica. Ello permite pensar sobre las ciencias y sobre cómo se construyen y problematizan promoviendo Competencias de Pensamiento Científico en el estudiantado.

1. Nombre de la Actividad
Controversias respecto de la composición del grupo 3 del sistema periódico.
2. Objetivo general
Promover la explicación y la argumentación científica acerca del debate respecto de la membresía del grupo 3.
3. Objetivos específicos
 - Orientar el análisis y la discusión teórica acerca de las controversias científico-filosóficas acerca del grupo 3;
 - Estimular el debate argumentativo y explicativo a partir del intercambio y debate de ideas.
 -
4. Tipología de actividades
Preguntas orientadoras, debate y discusión socializada.
5. Competencias de pensamiento científico que se promueven Argumentación y explicación.
6. Nivel de aplicación
Secundaria superior (17-20 años)
7. Metodología
Trabajo en grupos pequeños con pauta dirigida de actividades de aprendizaje y evaluación.
8. Instrumentos / recursos / materiales
 - Tablas periódicas vinculadas a las diferentes propuestas de solución del problema bajo estudio (véase Primera Parte de este trabajo).
 - 7 (siete) tarjetas con actividades problematizadoras de argumentación y explicación.
9. Tiempo destinado a la actividad
Deseable 2 horas (distribuidas en 4 momentos).
10. Producciones del estudiantado
Elaboración de textos explicativos y argumentativos.

Orientaciones para el profesorado de química

Se proponen siete actividades a desarrollar en 4 horas de clases continuas, en un ambiente de colaboración y trabajo en equipo, estimulando al diálogo y la sistematización de ideas. Se enfatizará la producción de textos explicativos y argumentativos. El grupo se divide en 7 equipos, según criterios de consenso, y se le distribuye a cada uno de ellos una tarjeta en la cual se incluye cada una de las actividades problematizadoras que orientan a promoción y desarrollo de la explicación y la argumentación, según la siguiente pauta metodológica en cuatro momentos:

Cuadro 1 – Pauta metodológica de las actividades

Momento	Desarrollo de la actividad	Orientación y finalidad
1	Introducción de la tarea (IT): (20 minutos)	Profesor (a) distribuye las tarjetas con cada actividad a los grupos y orienta el sentido y finalidad de la tarea
2	Trabajo grupal (TG) Desafío argumentativo y explicativo: (30 minutos)	– Se analizará cada actividad por separado promoviendo la participación y el intercambio de ideas (explicaciones, argumentos). No hay 'respuestas correctas e incorrectas'. – Producción de textos explicativos y argumentativos
3		Cada grupo comparte con el colectivo general su trabajo. Profesor (a) sistematiza cada una de ellas.
4		Profesor (a) promueve la reflexión y mirar 'el proceso vivido' a partir de preguntas tales como: <i>¿Qué aprendí con esta actividad? ¿Por qué es valioso explicar o argumentar en química? ¿A qué dificultades me enfrenté?</i>

Fuente: elaborado por los autores.

Tarjeta 1. Analiza con tu grupo de trabajo el siguiente texto: "La tabla periódica tradicional incluye los elementos escandio ($Z = 21$), itrio ($Z = 39$), lantano ($Z = 57$) y actinio ($Z = 89$). Sin embargo, es posible encontrar varias representaciones del sistema periódico de comienzos del siglo XX donde estos dos últimos elementos eran reemplazados por lutecio ($Z = 71$) y laurencio ($Z = 103$). En la actualidad, hay un intenso debate en la comunidad científica dado que algunos investigadores consideran que los dos últimos elementos del grupo deberían sustituirse por lutecio y laurencio, respectivamente". Utilizando las tablas periódicas de las que dispones, debate con tu grupo qué explicaría esta controversia. Anoten y registren sus ideas iniciales.

Tarjeta 2. Lean atentamente el siguiente texto y luego en vuestro grupo planteen argumentos a favor o en contra de lo que afirmaba el químico William Jensen en 1982: "Las configuraciones electrónicas de la capa de valencia $(n-1) d^1 ns^2$ no constituyen un criterio categorial que permita elucidar el problema, ya que el La y el Lu, así como el Ac y el Lr son candidatos de igual derecho a integrar el bloque d de elementos, debajo del Sc y del Y, en los períodos 6 y 7 de la tabla periódica".

Tarjeta 3. El Lu y el Lr son elementos pertenecientes a los lantanoides y actinoides, respectivamente. Cuando se aprecian las configuraciones electrónicas de los átomos de estos elementos parecen pertenecer, a priori, al bloque f y no al bloque d de elementos. ¿Cómo se explica este planteamiento teórico? Discutan en grupo y registren sus ideas.

Tarjeta 4. En abril de 2015 un equipo internacional de investigadores lograba medir, por primera vez, la primera energía de ionización del Lr, un elemento superpesado de número atómico 103. El resultado experimental corroboraba que la configuración electrónica de este elemento es $Lr(103) = [Rn] 5f^{14} 7s^2 7p^1$. Uno de los investigadores japoneses que integró dicho equipo afirmaba: "[...] estas mediciones pueden servir para respaldar la posición del laurencio como un actínido en el bloque f, un metal de transición en el bloque d, o bien como un elemento del bloque p..." ¿Cómo se explica este planteamiento teórico? Discutan en grupo argumentos a favor y en contra y registren sus ideas.

Tarjeta 5. Algunos autores consideran que el par Lu–Lr debería reemplazar al par La–Ac en el grupo 3, mientras que otros rechazan tal modificación. A la luz de esta situación, algunos investigadores privilegian el comportamiento químico concluyendo que es mejor preservar el conjunto de todos los elementos que integran la serie de los lantanoides y de los actinoides por separado. Esto implicaría entonces dos filas de 15

elementos *f*, La-Lu y Ac-Lr, en lugar de los 14 elementos como se observa en la tabla periódica que publica la IUPAC en su sitio web. ¿Están de acuerdo con esta línea de argumentación? Y en ese caso, ¿permitiría establecer alguna conclusión respecto del propósito de la tabla periódica? Adelanten algunas explicaciones o argumentos.

Tarjeta 6. El químico Laurence Lavelle ha manifestado una clara oposición al intento de desplazar al bloque *d* de elementos al Lu y al Lr y colocarlos bajo el Y. Si el La y el Ac fueran desplazados del grupo 3, tales elementos deberían encabezar el bloque *f*, resultado que este autor encuentra inaceptable dado que los átomos de tales elementos poseen un electrón en el orbital *d* pero están ausentes en el orbital *f*, lo que no ocurre en el caso del Lu y del Lr. Sin embargo, el elemento torio ($Z = 90$), cuya configuración es $[Rn] 6d^2 7s^2$, forma parte del bloque *f* de elementos pese a no poseer electrones externos en dicho orbital. Expliquen sus puntos de vista y acuerdos o desacuerdos. ¿Es posible establecer alguna conclusión respecto del alcance de las configuraciones atómicas para explicar el comportamiento químico de los elementos en la tabla periódica?

Tarjeta 7. Decidan si están de acuerdo en valorar la aportación de una tabla periódica de longitud extendida (32 columnas) como una posible solución al problema de los elementos del grupo 3. Registren las posibles ventajas y desventajas respecto de las soluciones planteadas utilizando la tabla periódica de longitud media (18 columnas). Asimismo, valoren el aporte de las triadas de número atómica en dichas tablas. Anoten y expliquen sus ideas iniciales.