

UN INSTRUMENTO PARA ANALIZAR EL CONCEPTO DE ELEMENTO QUÍMICO EN LA ENSEÑANZA DE LA TABLA PERIÓDICA: EL LEGADO DE MENDELEIEV

Carlos Agudelo Carvajal
Universitat de Barcelona

Mercè Izquierdo Aymerich
Universitat Autònoma de Barcelona

RESUMEN: Presentamos un instrumento de análisis y algunos resultados obtenidos al utilizarlo en el estudio de la visión de elemento químico (EQ) en libros de texto (LT) y en concepciones de profesores cuando abordan la tabla periódica (TP). El diseño del instrumento, con base en la historia y la filosofía de la química, considera las dimensiones ontológica ('macro' – 'sub-micro') y epistemológica ('simbólico' – 'realista') del concepto de EQ. Los resultados obtenidos evidencian la predominancia de 'relatos' con visiones centradas en el átomo físico, que saltan de manera inconexa entre niveles ontológicos y epistemológicos, descuidando el átomo químico y la complejidad del EQ, limitándolo a una dicotomía entre átomo y sustancia simple.

PALABRAS CLAVE: Tabla periódica, elemento químico, historia y filosofía de la química, formación de profesores.

OBJETIVOS: La TP ha permanecido en las aulas y en los LT desde que Mendeleiev la usó para enseñar química, y su estructura se mantiene a pesar de la evolución del concepto de EQ, potenciada por físicos y químicos en colaboración para explicar la ley periódica. Tal evolución se suele simplificar, al introducir la TP, señalando la "corrección" de criterio de ordenación que sustituye la masa por el número atómico. Una retórica de las conclusiones configura 'relatos' que favorecen la visión empírico-positivista de la química, con simplificaciones que acentúan la brecha entre 'hechos' y teoría, desconociendo la riqueza del concepto de EQ inherente a las ideas de periodicidad y permanencia en los compuestos, que son clave desde el punto de vista químico, histórico y filosófico.

Teniendo en cuenta esto, nos propusimos: a) construir un instrumento de análisis para estudiar la visión de EQ que comunican los LT y las concepciones de los profesores, b) caracterizar los 'relatos' predominantes al introducir la TP considerando las transiciones entre niveles ontológicos y epistemológicos, y c) aportar herramientas de discusión sobre la importancia dialéctica de la complejidad del concepto de EQ en la enseñanza y la formación de profesores.

MARCO TEÓRICO

El instrumento que presentamos fue desarrollado como parte de la tesis doctoral (Agudelo, 2015), inscrita en el marco de la “actividad científica escolar”, según el cual en la clase de ciencias se debe favorecer la interacción entre lenguaje, pensamiento y acción, considerando la ciencia como actividad humana (Izquierdo-Aymerich & Aliberas, 2004). Nos apoyamos en el enfoque histórico y filosófico de la Química Escolar (Izquierdo-Aymerich, 2013, 2014), centrada en estrategias de modelación para estructurar actividades de clase tales que los alumnos experimenten actividad química genuina, utilizando ‘relatos’ históricos sobre la emergencia de las entidades teóricas y reflexiones de la filosofía sobre su estatus epistemológico y ontológico.

El concepto de EQ ha tenido diversos estatus en su evolución, algunos de los cuales se mantienen: existen etiquetas (por ejemplo, *sustancia simple*) o atributos (por ejemplo, *no se puede descomponer en sustancias más simples*) que se refieren a los EQ de Lavoisier, macroscópicos. También hay etiquetas (como *tipo de núcleo atómico*), o atributos (como *número de protones*) que se refieren a una concepción sub-microscópica del elemento (al átomo físico). Pero ¿en qué medida son reales sus referentes? De la historia y la filosofía, sabemos que los ejemplos anteriores refieren una visión más ‘realista’ que instrumental, como sería el caso, por ejemplo, de la etiqueta *sustancia básica* o del atributo *carece de propiedades macroscópicas*.

Las dificultades didácticas del concepto, y su relación con la TP, han sido sustentadas desde el punto de vista histórico y filosófico (Linares, 2004, Erduran, 2013; Labarca & Zambon, 2013; Scerri, 2012). La pregunta *¿qué es un elemento?* estructuradora del conocimiento humano, al menos desde el nacimiento de la filosofía griega, revela la importancia del problema y su complejidad dada la diversidad y polisemia existente (Labarca, Zambon, & Quintanilla, 2014).

Mendeleviev puso en evidencia la complejidad del concepto de EQ al utilizar un estatus epistemológico abstracto en la formulación y representación de la Ley Periódica. Este concepto sigue impulsando el conocimiento en favor de la función didáctica de la TP, que es una piedra angular en la ‘capitalización’ de aspectos filosóficos de la química para la educación, no sólo por su importancia histórica (Bensaude-Vincent, 1991; Scerri, 2007), filosófica (Erduran, 2007; Erduran & Scerri, 2002; Tobin, 2013) y didáctica (Linares, 2004), sino también porque está asociada a uno de los hitos en los que, con ayuda de la filosofía y la historia, se puede identificar la emergencia de conceptos químicos básicos, en los cuales se basan las estrategias de modelización y el diseño de la química escolar (Izquierdo-Aymerich, 2013, 2014).

Dado el carácter de hito histórico y de materia prima para diseñar la química escolar, la función didáctica de la TP, como herramienta dialógica entre el ‘mundo’ y la teoría, sustenta la importancia de que los profesores seamos conscientes de la complejidad inherente al EQ, y de las simplificaciones que frecuentemente acaban reduciéndolo al átomo físico. Como afirman Izquierdo-Aymerich y Adúriz Bravo (2009, p. 452):

... The ‘dialectic’ of this atom with real chemical phenomena is in many cases lost; students do not become acquainted with such phenomena and therefore fail to understand the atomic theory, as they cannot ‘see’ what it comes to explain

La Química Escolar establece un marco para explorar heurísticas de la TP, considerando el nivel intermedio del *mol* en la construcción de entidades teóricas que puedan usarse para el razonamiento y la intervención de los cambios en el ‘mundo’ de las sustancias. El átomo químico da la posibilidad de pensar que millones y millones de partículas en conjunto se comportan de manera similar a como lo hacen las sustancias en los fenómenos que podemos intervenir, facilitando la dialéctica que el átomo físico obstaculiza al nivel escolar (Izquierdo-Aymerich, 2013, 2014).

Estas consideraciones evidencian la función didáctica y heurística de la TP en la construcción de entidades teóricas, como el EQ, que juegan un papel primordial en la dialéctica genuina, necesaria para que los alumnos ejerzan ‘actividad química’.

METODOLOGIA

Con el interés de tener herramientas para explorar heurísticas que tengan en cuenta el nivel molar, hemos desarrollado un instrumento que permite caracterizar, en términos de su complejidad, las visiones de EQ que comunican los libros de texto o que tenemos los profesores al introducir la TP. Para diseñar el instrumento consideramos que dicha complejidad se puede representar, de la mano de la historia, la filosofía y la didáctica de la química, mediante la superposición de las dimensiones ontológica y epistemológica, a través de las cuales ha transitado históricamente el referente de EQ.

Inicialmente, nos basamos en un esquema genérico (Fig. 1) que evidencia las 4 combinaciones posibles (Agudelo, 2015):

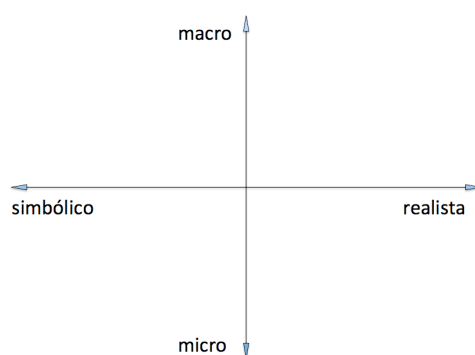


Fig. 1. Esquema genérico bidimensional

A partir de éste, y el análisis de una muestra representativa de artículos publicados entre 2000 y 2015, configuramos 4 esquemas particulares, cada uno centrado en los siguientes aspectos:

1. *Etiquetas* como sinónimos de EQ (sustancia pura, sustancia elemental, etc.)
2. *Atributos* para diferenciar los EQ (carga nuclear, número atómico, etc.)
3. *Propiedades periódicas* de los EQ (número de oxidación, densidad, etc.)
4. *Ítems* usados en los ‘relatos’ para introducir la TP (modelos atómicos, Mendeleiev, etc.)

Para configurar cada esquema ubicamos, respectivamente, *etiquetas*, *atributos*, *propiedades periódicas* e *ítems*, según su estatus ontológico y epistemológico (Tabla 1). En éstos esquemas, vaciamos los datos obtenidos con una encuesta para profesores y una plantilla de análisis para LT, y los interpretamos tal como se explica a continuación.

Uso e interpretación de los esquemas E.1, E.2 y E.3

Según la importancia otorgada a cada *etiqueta*, *atributo* o *propiedad*, señalamos los círculos correspondientes para ver las tendencias. Por ejemplo, si los esquemas de un LT tienden a usar diversas *etiquetas*, diversos *atributos* y diversas *propiedades*, y están repartidas por todos los cuadrantes, consideramos que comunica una visión de EQ más compleja que si usa poca variedad y/o se centra en uno de los cuadrantes. Además, una interpretación conjunta de los esquemas informa de la coherencia de los ‘relatos’,

ya que un LT centrado, por ejemplo, en etiquetas ‘macro’ y en propiedades periódicas atómicas, podría comunicar una visión incoherente de EQ.

Uso e interpretación del esquema E.4

El esquema E.4 permite seguir la secuencia de los *ítems* más usados en los ‘relatos’ para valorar si éstos transcurren desde lo ‘macro’ hacia lo ‘sub-micro’ o viceversa, desde lo simbólico hacia lo realista o viceversa.

Nos interesamos especialmente en la posición relativa de dos TP: la de Mendeleiev (TP de masas, representada con B) y la comúnmente denominada TP “moderna” o “actual” (TP de números atómicos, representada por G). Esta posición relativa, junto con la interpretación conjunta de todos los esquemas, nos da información sobre la importancia que se le da al átomo químico en la construcción histórica del átomo físico.

Asimismo, la interpretación conjunta aporta información sobre la coherencia para poder identificar y caracterizar algunos tipos o perfiles de ‘relato’.

Tabla 1.
Esquemas particulares

<p>E.1: ETIQUETAS</p>	<p>E.2: ATRIBUTOS</p>
<p>SP: sustancia pura, SE: sustancia elemental, SS: sustancia simple, EA: entidad abstracta, SB: sustancia básica, EL: elemento, BF: bloque fundamental de la materia, TN: tipo de núcleo, TA: tipo de átomo</p>	<p>SCQ: sobrevive al cambio químico, MAT: se caracteriza por la masa atómica, NOD: no se puede descomponer por medios químicos, CPM: carece de propiedades macroscópicas, LTP: se caracteriza por el lugar que ocupa en la tabla periódica, NAT: se caracteriza por el número atómico, CNU: Se caracteriza por la carga nuclear, NPR: se caracteriza por el número de protones</p>
<p>E.3: PROPIEDADES PERIODICAS</p>	<p>E.4. ÍTEMES</p>
<p>FCQF: fórmulas de los compuestos que forma, DENS: densidad, PEYF: punto de ebullición y de fusión, NOXI: números de oxidación, VALE: valencias, COMB: capacidad de combinación química, REAC: reactividad, ESSS: estructura de la sustancia simple, CMET: carácter metálico, ELNG: electronegatividad, CFEV: configuración electrónica de valencia, RATM: radio atómico, EION: Energía de ionización, ODIF: orbital diferenciador, EVAL: electrones de valencia, RION: radio iónico, AFEL: afinidad electrónica</p>	<p>A: modelo atómico de Dalton, B: TP de masas, C: propiedades periódicas de sustancias, D: relación entre configuración electrónica y sitio en la TP, E: relación entre propiedades de la sustancia y estructura interna, F: relación entre electrones de valencia y comportamiento químico, G: TP de números atómicos, H: modelo atómico de Rutherford, I: modelo atómico de Bohr, J: propiedades periódicas de los átomos, K: átomo cuántico, L: configuración electrónica, M: electrones de valencia, N: explicación electrostática de las pro. periódicas de los átomos</p>

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Mediante el uso del instrumento que presentamos en esta comunicación, pudimos caracterizar la visión de EQ que comunican los LT de una muestra de ESO y bachillerato, así como las concepciones de un grupo de profesores de estos mismos niveles escolares (Agudelo, 2015).

La interpretación de los diagramas obtenidos arroja la predominancia de un ‘relato’ que presenta la idea de Mendeleiev, de usar la masa atómica como criterio de ordenación para ordenar sustancias simples (macro/realista), como una idea brillante pero “errónea” que posteriormente fue “corregida” con el uso del número atómico (micro/realista).

Hemos visto que este cambio de nivel ontológico se suele hacer de manera dicotómica, inmersa en un realismo ingenuo, manteniendo una brecha entre los fenómenos (las sustancias simples) y la teoría (el átomo), sin tener en cuenta el *mol* como nivel intermedio; lo cual sería interesante para hacer transiciones heurísticas entre los niveles que ayuden a los alumnos a “ver” las entidades teóricas como herramientas para la modelización, de manera similar a como lo han hecho los químicos.

Tanto las etiquetas para referirse a los EQ como los atributos que los caracterizan, se suelen utilizar de manera indiscriminada y descontextualizada, lo cual hace de la complejidad semántica un problema por falta de coherencia, en lugar de hacer de él un potencial didáctico como lo ha sido en la química a través de la historia.

La complejidad del concepto de EQ mantiene el carácter dinámico de la TP, como herramienta heurística de modelización, tal como se ha usado en la química y en la filosofía. En cambio, la simplificación dicotómica entre átomos y sustancias simples encorseta la TP, limitándola a un carácter clasificador, a la manera de archivo, que obstaculiza su función heurística.

El contexto de finales del siglo XIX y principios del XX, en el que se construyeron el sistema periódico y los modelos de átomo físico a partir del átomo químico, es de especial interés histórico, filosófico y didáctico, y nos da luces sobre la construcción de las entidades teóricas como herramientas de modelización. Los EQ y la TP jugaron un papel primordial en la dialéctica de los químicos y es importante poner en evidencia el origen histórico de la dicotomía que permanece en los libros de texto y en las concepciones de los profesores.

Compartimos con Izquierdo-Aymerich (2014), que no se trata de explicar los fenómenos macroscópicos en términos de átomos de manera forzada (porque los alumnos desconocen el átomo químico), sino de relacionar grupos de fenómenos y representarlos de manera abstracta, mediante el lenguaje y las herramientas teóricas que estén al alcance de los alumnos, o que construyan cuando las “vean” necesarias para pensar e intervenir los cambios, para que, con ello, puedan construir la idea química que representa el átomo.

Estas consideraciones, así como los resultados obtenidos, sustentan la utilidad del instrumento que presentamos y la importancia de seguir trabajando en él para afinar su capacidad interpretativa, así como para incorporarlo en las herramientas de análisis de LT y en la reflexión teórica de los profesores en formación. Para continuar en esta línea, nos interesa someter a debate las ideas principales de la construcción del instrumento con el fin de diseñar nuevas encuestas y entrevistas que nos ayuden a mejorarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUDELO, C. (2015). La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: clasificar o aprender. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (1991). Mendeleiev: Historia de un descubrimiento. En *Historia de las ciencias* (1.a ed., p. 649). Madrid: Catedra.

- ERDURAN, S. (2007). Breaking the law: promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9(3), 247-263.
- (2013). Philosophy, chemistry and education: An introduction. *Science & Education*, (22), 1559-1562.
- ERDURAN, S., & SCERRI, E. R. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education. En J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (1.a ed., pp. 7-27). Netherlands: Kluwer academic publishers.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, (22), 1633-1653.
- (2014). Pasado y presente de la química: su función didáctica. En C. Merino-Rubilar, M. Arellano, & A. Adúriz-Bravo, *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M., & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2009). Physical construction of the chemical atom: Is it convenient to go all the way back? *Science & Education*, 18(3-4), 443-455.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M., & ALIBERAS, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències: per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, Servei de publicacions.
- LABARCA, M., & ZAMBON, A. (2013). Una reconceptualización del concepto de elemento como base para una nueva representación del sistema periódico. *Educación Química*, 24(1), 63-70.
- LABARCA, M., ZAMBON, A., & QUINTANILLA, M. (2014). Aspectos Histórico-Filosóficos del Concepto de «Elemento». Aportes para la Formación Inicial y Continua de Profesores de Ciencias. En M. Quintanilla, S. Daza, & C. Henry (Eds.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias», promotora de ciudadanía y valores* (1a ed., pp. 233-249). Santiago de Chile: Bellaterra Ltda.
- LINARES, R. (2004). Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- SCERRI, E. (2007). *The periodic table. Its story and its significance* (1.a ed.). New York: Oxford: University press.
- (2012). What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14(1), 69-81.
- TOBIN, E. (2013). Chemical Laws, Idealization and Approximation. *Science & Education*, 22(7), 1581-1592.