

Esta sección engloba la anterior, que se llamaba HUESOS DUROS DE ROER, con nuevas contribuciones sobre unidades didácticas y otras aportaciones en la didáctica disciplinaria.

La ley periódica. Un análisis histórico epistemológico y didáctico de algunos textos de enseñanza

Johanna Patricia Camacho González,¹ Rómulo Gallego Badillo²
y Royman Pérez Miranda²

Abstract (*The periodic law. An analysis based on the history and philosophy of science in some text books of general chemistry*)

From the Didactics of Natural Sciences one recognizes the necessity and importance of considering the historical component in the education of sciences so that students understand how a scientific activity is constructed from a human and communitarian perspective. Through the epistemological historical reconstruction of a scientific concept in particular, in this case the Periodic Law, it is possible to demonstrate the dynamics of scientific communities that face certain problems in contexts and particular moments and that face these situations by formulating chemical models and/or models of education, thanks to which, chemistry consolidates as a science. The objectives of this investigation were: a) elaboration of the historical-epistemological and didactical reconstruction of the chemical concept 'Periodic Law'; b) formulation of criteria and categories from the mentioned reconstruction and c) evaluation of twelve currently used textbooks of General Chemistry in two Colombian universities according to the formulated criteria.

Introducción

A partir de la investigación que se presenta a continuación, se evidenciaron algunos aspectos que permitieron considerar la construcción del conocimiento científico desde una perspectiva social, dinámica y comunitaria, no sólo desde el contexto de descu-

brimiento y justificación al que alude Riechebach, sino además desde el contexto de evaluación y, en este caso, sobre todo el de educación científica donde se asume que la enseñanza y difusión de las ciencias está mediada por los ámbitos sociales y culturales, que de alguna forma deciden la actividad científica que se debe involucrar en los procesos de formación científica de los ciudadanos.

El componente histórico epistemológico de las ciencias ha despertado el interés de las investigaciones en Didáctica de las Ciencias en la última década como se observa en la literatura especializada (Matthews, 1994; Gallego Badillo, Gallego Torres y Pérez Miranda, 2002; Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005). Datos y resultados sustentados empíricamente y teóricamente señalan algunos aportes que se pueden considerar en la enseñanza de las ciencias: el conocimiento de las dinámicas científicas, su contexto social, político, económico y sus controversias permiten comprender cómo se construyen, resignifican y comunican los modelos científicos, además de presentar la ciencia como una actividad que es mutable y cambiante y que, en consecuencia, el conocimiento científico actual es susceptible de ser evaluado y transformado.

No obstante, al reconocer la importancia del componente histórico en la enseñanza de las ciencias, varios estudios (Brito, Rodríguez y Niaz, 2005; Camacho, 2003; Camacho y Pérez, 2005; Castro, 2003; Cuellar, Pérez, y Quintanilla, 2005; Muñoz, y Bertomeau, 2003; Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005) coinciden en concluir que éste es un aspecto que no se considera durante los procesos de educación científica, es decir, que se transmite una imagen descontextualizada y no histórica de las ciencias (Gallego Torres, 2002). ¿Qué versión de ciencia se enseña?, ¿desde dónde se aborda?, ¿para qué enseñar ciencias?, ¿se ocupa esta versión de ciencia que se enseña de considerar los contextos sociales y culturales en los que los científicos han contribuido y contribuyen al conocimiento científico?

En atención a los anteriores cuestionamientos

¹ Magíster en Docencia de la Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C. Colombia.

Correo electrónico: johanna_camacho5@hotmail.com

² Profesores Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C. Colombia. Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos, Grupo IREC.

Correo electrónico: rgallego@uni.pedagogica.edu.co

royman@uni.pedagogica.edu.co

Recibido: 9 de mayo de 2006; aceptado: 8 de enero de 2007.

surgió la presente investigación, en la que se abocó la Ley Periódica de los elementos químicos como objeto de estudio, no sólo por el carácter predictivo, explicativo y correctivo que permitió distinguirla de las leyes de la física, sino además por la importancia que tiene en el ámbito de la enseñanza de la química, al ser un modelo que surgió por una necesidad didáctica. El aporte de otros profesores además de Dimitri I. Mendeléiev, permitieron la consolidación de la Ley Periódica en 1913, las propuestas icónicas “tablas periódicas” que se utilizan día a día en las salas de clase y las primeras elaboraciones de libros de texto que permitieron difundir los conocimientos químicos a estudiantes principiantes.

En este trabajo se analizó el tratamiento histórico epistemológico y didáctico que algunos libros de textos de Química General utilizados en los programas de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá D. C. Colombia, hacen de la Ley Periódica. Para este cometido se revisó la literatura especializada disponible en este campo. Con base en esta revisión se formularon unas categorías y unos criterios de análisis para evaluar los textos seleccionados: a) el análisis de los hechos que permitieron la construcción de la Ley Periódica, como modelo de enseñanza y como modelo científico; b) el uso de la categoría epistemológica de modelo científico para dar cuenta de la química como ciencia y de la Ley Periódica específicamente, c) y el correspondiente trabajo científico que, como actividad humana, se desarrolló colectivamente, en un contexto cultural determinado.

Una versión histórico epistemológica de la ley periódica como modelo de enseñanza y como modelo científico

Antes de la consolidación de la química como una de las ciencias de la naturaleza, hubo diferentes posiciones acerca de los materiales que componen el Universo. Los filósofos griegos, los alquimistas y los iatroquímicos propusieron varias concepciones. El carácter científico de la química se inició con la búsqueda de un principio general que fundamentara la constitución material de las cosas que existían. Al respecto, J. Becher, químico alemán, adoptó como principio general la tierra, por la característica que, según él, tiene de diversificarse en tres principios distintos: la tierra vitrificable, la tierra volátil y la tierra grasa, esta última denominada por su discípulo G. E. Sthal, flogisto (el alimento del fuego) (Izquier-

do, 1988). A partir de este principio Sthal formuló explicaciones sobre diversos fenómenos objeto de estudio de los químicos de la época. No obstante, Sthal no dio explicaciones admisibles para, por ejemplo, el calor, la luz, el color, el olor de los cuerpos y el carácter metálico.

Según B. Bensaude-Vincent (1991a), químicos, filósofos e historiadores atribuyen el nacimiento científico de la química a A. L. Lavoisier, por su modelo de la combustión (química del oxígeno), el papel esencial de la balanza dentro de las prácticas experimentales desde 1770, y la Ley de la conservación de los pesos, ley que rige los cálculos de los procesos químicos. Su trabajo lo compendia en el Tratado Elemental de Química, en 1789, escrito con el objeto de velar por la transmisión de su modelo, especialmente dedicado a los iniciados. Su texto se convierte en uno de los más significativos, históricamente hablando, para la enseñanza de la química. Hay pues, en este texto una intencionalidad didáctica y pedagógica. Lavoisier demostrará la insostenibilidad del modelo del flogisto y contribuirá a su abandono definitivo.

Con posterioridad a la Ley de la conservación de los pesos de Lavoisier, se formulan las leyes científicas conocidas como leyes ponderales que consolidaron a la química como un programa de investigación (Lakatos, 1983). Hay que anotar que, en ese tiempo y a pesar de estas leyes ponderales, para ese tiempo entre los químicos, como comunidad de especialistas, no habían acordado un lenguaje conceptual y metodológico específico que les permitiera la circulación de los resultados de sus reflexiones e investigaciones. Como intento para resolver esta situación se convocó a finales de 1850 el Primer Congreso Internacional de Química, que se celebró en la ciudad alemana de Karlsruhe. Una de las problemáticas que surgió de este congreso fue la del ordenamiento de los elementos químicos hasta entonces identificados. En él participaron J. L. Meyer y D. I. Mendeléiev.

La idea de la construcción de una sistemática química de las sustancias se remonta a J. J. Berzelius quien, dentro de su proyecto de hacer de la química una de las ciencias de la naturaleza, en 1810 clasificó las sustancias simples conocidas en dos grandes grupos de acuerdo con su comportamiento electroquímico: las electropositivas o metales, y las electronegativas o no metales. Para estas últimas, más tarde se generalizaría la denominación de metaloides.

En lo relativo al ordenamiento de las sustancias

simples ya identificadas, se presentan algunas propuestas. Por un lado, desde el punto de vista de la concepción de una sustancia fundamental, a partir de la cual se constituían todas las otras, como fue la del caracol o tornillo telúrico “vis tellurique”, de B. de Chancourtois y, por otro, desde la necesidad de una ley aplicable a las sustancias simples conocidas. Al respecto se destacan las propuestas de las triadas de J. W. Döbereiner (1829), el sistema de trece grupos de W. Odling (1864) y la Ley de las octavas de J. A. R. Newlands (1864). Dentro de este proceso se resalta la labor de los profesores J. L. Meyer (1870), de la Universidad de Breslau en Alemania, y de D. I. Mendeléiev, de la Universidad de San Petersburgo.

Cabe destacar que las intencionalidades de Meyer y de Mendeléiev estaban inspiradas en la necesidad de mejorar sus prácticas docentes, en el sentido de presentarles a sus estudiantes una química racional y ordenada (Bensaude-Vincent, 1991b). Siguiendo su interés didáctico decidieron escribir sus textos, especialmente dedicados a los estudiantes, en los que explicaron las propiedades y características de los elementos químicos existentes, representando gráficamente mediante tablas las relaciones de periodicidad que habían deducido. De esta manera se formuló, a finales de la década de los sesenta del siglo XIX, la Ley Periódica que aquí es considerada como un modelo de enseñanza, que después se consensuó como modelo científico, rompiendo la tradición a la que se refieren las profesoras S. M. Islas y M. A. Pesa (2001), en cuanto la transformación de modelos científicos consensuados en modelos de enseñanza.

Unas aclaraciones son pertinentes:

- 1) En lo referente a la categoría epistemológica de modelo científico que hoy ha cobrado vigencia. Al respecto se han ocupado de ella R. N. Giere (1990) y O. Lombardi (1998) dentro del campo de la Física. E. F. Caldin (2002) recoge la tradición que clasifica los modelos científicos en icónicos o gráficos, analógicos y simbólicos. Los simbólicos son los que se fundamentan en los sistemas axiomáticos de la matemática y que han sido desarrollados y empleados por los físicos. La Ley Periódica y su representación en tabla periódica constituyen un modelo icónico.
- 2) En lo alusivo a Ley en las ciencias de la naturaleza, son múltiples las discusiones que se han dado (Hanson, 1997), entre las cuales se señala que el enunciado de una Ley está incorporado a las reglas de juego que el modelo correspondiente establece. Por lo general, y dentro de una

tradición de carácter empíro-positivista, se suele afirmar que toda ley, para ser considerada científica, debe expresarse en las formas algorítmicas como se empezaron a formular desde la mecánica de Newton. Sin embargo, si una ley se concibe como una generalización, en la que se expresan regularidades deducidas desde un modelo determinado, para explicar el comportamiento del objeto de conocimiento del cual se da cuenta, así esa Ley no se exprese mediante algoritmo alguno, ha de ser considerada como científica (Scerri, 1997). Este es el caso de la Ley Periódica en el modelo icónico que configura.

Si bien en sus trabajos Meyer y Mendeléiev seguían puntualizaciones conceptuales y metodológicas análogas, Mendeléiev fue quien da a conocer primero su sistema de clasificación (Mendeléiev, 1869). Para lograr la aceptación de su propuesta por parte de la comunidad de especialistas, desde la confiabilidad depositada en sus razonamientos, predijo la existencia de algunos elementos y las propiedades que podrían caracterizarlos (Mendeléiev, 1871; 1889); predicciones que fueron corroboradas tiempo después. Hay que anotar aquí que el científico ruso utilizó para tal efecto cálculos aproximados a los de Döbereiner (Schneer, 1975).

El poder explicativo de la Ley Periódica permitió, por ejemplo, la incorporación de una nueva familia de elementos, la de los gases nobles y la ubicación de nuevas sustancias químicas como las tierras raras. Además, hizo posible establecer, gracias a los trabajos del físico inglés H. G. J. Moseley (1913), la relación entre las longitudes de onda y los números ordinales de la tabla periódica, denominados números atómicos.

Anótese que en su primera publicación (1869), Mendeléiev compone una tabla en la que ordena en periodos los 63 elementos conocidos, a partir de los pesos atómicos equivalentes, comenzando por el litio y estableciendo un nuevo período cada ocho elementos. En este esquema ubicó en cada grupo los elementos que tenían propiedades químicas semejantes. En el tercer período, el calcio cuadraba perfectamente en el grupo dos, con el berilio y el magnesio; sin embargo el que le seguía al calcio en el período, el titanio, presentaba unas propiedades que correspondían al cuarto grupo, con el carbono y el silicio. El análisis de este hecho lo condujo a dejar unas plazas vacantes y supuso que serían ocupadas por elementos que se identificarían en un futuro. Su

propuesta no se quedó en este punto, puesto que se dio a la tarea de predecir cuales serían las propiedades de estos elementos desconocidos y empleando la regla aproximada de Döbereiner (1829), calculó cuáles podrían ser sus correspondientes pesos atómicos equivalentes. Es conocido el caso del Ekasilicio, al que le atribuyó un peso atómico equivalente de 72, además de proponer sus propiedades. Fue identificado en 1887 y se le dio el nombre de germanio (Schneer, 1975).

Para una mayor precisión, B. Bensaude – Vincent (1991b) establece que el trabajo de Mendeléiev se inscribe en una discusión, de carácter epistemológico, en la que el ruso toma partido, en 1856, por la propuesta de Gerhard y por el modelo unitario de las reacciones químicas, en contraposición del electroquímico y dualista de Berzelius. Igualmente, participa en la discusión en torno al origen de la pluralidad de los elementos, en la que unos la reducen a la existencia de un elemento primordial, mientras que otros prefieren referirla a una Ley única. Los partidarios de la primera posición, se alinean con lo establecido por W. Prout, a principios del siglo XIX, quien postula que para explicitar esa multiplicidad hay que asignarle ese carácter primordial al hidrógeno. Entre los partidarios de Prout está A. B. de Chancourtois y, hasta cierto punto, J. S. Stas. En cuanto a la segunda posición, la autora de la referencia identifica a J. A. Newlands, W. Odling y D. I. Mendeléiev. Odling es quien repara, en 1865, que hay una regularidad y una diferencia destacables entre los pesos atómicos equivalentes, para los elementos de cada grupo, como la variación de las propiedades químicas y las secuencias de los correspondientes pesos atómicos. La Ley de periodicidad está ya vislumbrada.

Con base en esta primera aproximación a la Ley, Mendeléiev, en 1869, la explota conceptual y metodológicamente desde el conocimiento químico admitido por la comunidad de especialistas, al ocuparse de las necesarias contrastaciones empíricas. Es en este contexto, que el ordenamiento que establece se lo dicta la Ley de periodicidad y no la representación icónica o gráfica, que es su tabla y que él destaca como su logro. Desde este convencimiento, se dedica, epistemológicamente, a apuntalar su concepción de lo que para él es una Ley científica (Bensaude-Vincent, 1991b).

Sea esta la oportunidad para resaltar el carácter comunitario de la construcción histórica de la Ley Periódica, puesto que no puede ser atribuida con

exclusividad a Mendeléiev, ya que a ella, como se ha anotado, contribuyeron los trabajos de muchos otros científicos que se interesaron por la sistemática de las propiedades de los elementos químicos, bajo el imperativo de hacer más próxima la química de la época a aquellos estudiantes interesados en estas cuestiones científicas. Estos especialistas, mediante sus libros de enseñanza, permitieron consolidar la Ley Periódica como modelo de enseñanza y, por tanto, la formulación de diferentes modelos icónicos que tienen como fin estudiar y utilizar con propósitos predictivos las propiedades periódicas de los elementos químicos.

G. Bachelard (1976) destaca que el cuadro de Mendeléiev establece un orden cruzado formado por las variables peso atómico equivalente y valencia. Hace notar que muchos recopiladores de la historia de la química suelen hablar de peso atómico, cuando para la época no es propiamente un peso, ya que hace referencia a las relaciones ponderales de los elementos que componen una sustancia determinada. El peso atómico como un valor absoluto vendrá con los desarrollos posteriores, cuando el átomo deja de ser una entidad metafísica de los químicos, como decía M. Faraday (Schneer, 1975).

En cuanto a los pesos atómicos relativos, hay que recordar que el desarrollo de la química cuantitativa se debe a J. J. Berzelius. Esta ocupación se deriva de la lectura que hizo de los trabajos de C. F. Wenzel y de J. B. Richter, como también de la adopción que hace del modelo atómico de J. Dalton y de la confiabilidad que le atribuye a las leyes ponderales. Convencido de que el oxígeno era el elemento central de la química, convirtió los pesos de combinación en pesos atómicos relativos, para lo cual atribuyó al oxígeno un valor de 100, al cual refirió los pesos de cerca de cuarenta elementos conocidos. Anótese que en 1814, W. H. Wollaston es quien propone el concepto de peso equivalente. Después de varios años de labor de determinaciones y cálculos, en 1818, Berzelius publicó su tabla de pesos atómicos, que corrigió en 1826. Más tarde cambió de referente y tomó como unidad el peso relativo del hidrógeno, lo que acarreó el problema de tener que variar y alterar los pesos relativos ya admitidos. La solución la aportó J. S. Stas, quien propuso en 1850, tomar como base el peso atómico relativo de 16 para el oxígeno, con lo que se mantenía el peso unidad del hidrógeno (Lockemann, 1960). Este fue el concepto de peso atómico con el que trabajó Mendeléiev.

Es durante esta primera mitad del siglo XIX que A. Laurent, basado en la hipótesis de Avogadro, propone la definición de peso molecular de un elemento o compuesto como la cantidad en peso que en estado gaseoso, en iguales condiciones de P y T, ocupa el mismo volumen que dos partes en peso de hidrógeno. Es de tener en cuenta que, en 1811, Gay-Lussac propone el método experimental para determinar pesos moleculares, fundado en las densidades de vapor, modificado primero por J. B. Dumas en 1827 y luego, en 1868, por A. W. Hoffmann. Con miras también a una ubicación temporal de lo afirmado por G. Bachelard, es menester recordar que el concepto de valencia fue propuesto por C. H. Wichelhaus para designar la atomicidad; el que fue retomado por E. Frankland en relación con las leyes de las proporciones definidas y múltiples, en términos de capacidad de saturación. A. Kekulé, en 1857, empleó este concepto para fundamentar su propues-

ta de la tetravalencia del carbono (Lockemann, 1960).

Las representaciones gráficas de la ley periódica

Después de muchos años se observa que el estudio de las propiedades Periódicas de los elementos es aún objeto de análisis por parte de muchos científicos, como afirma E. Scerri, (1998) "the periodic table remains at the heart of the study of chemistry", que con el tiempo, de la misma forma que el modelo de Darwin o el de Newton, ha proporcionado explicaciones que fundamentan el marco conceptual de la química como una ciencia de la naturaleza. A partir de la formulación de la Ley Periódica, profesores de varios países han reflexionado y continúan haciéndolo con miras a lograr una representación gráfica sobre la forma más ordenada, sistemática y precisa para hacer objeto de trabajo en el aula los conceptos fundamentales de la química.

Con este propósito estos profesores han ideado diferentes modelos icónicos, como son: a) los modelos tridimensionales, de F. Dufour (1946), del Collège Ahuntsic de Montreal; b) los modelos piramidales, propuestas de W. Jensen de la Universidad de Cincinnati y de E. Zmaczynski; c) los modelos espirales, propuesta del profesor latinoamericano Bravo (1949) y O. T. Benfey (1970); del Earlham College de Indiana d) el del quebecium, propuesta que desarrolló en 1995 P. Demers; e) el modelo periódico redondo (2000) del Departamento de Química de Allegheny Collège y f) el modelo a periódico a partir del benceno (2004) del equipo de la Universidad de Missouri, Kansas; entre otros.

Metodología

La investigación se realizó en varias etapas. La primera consistió en la recolección, selección, análisis y evaluación de documentos de la literatura especializada en la temática objeto de estudio. A partir de allí, se elaboró la reconstrucción histórico-epistemológica y didáctica que se ha presentado y se formularon las categorías y criterios de análisis para la evaluación de los libros de texto de Química General, descritos en la tabla 1.

Posteriormente se realizó la selección de los libros de texto. La muestra correspondió a un total de 12 libros publicados entre 1942 y 2003 (ver anexo I). Esta selección se hizo a partir de los textos recomendados en el segundo semestre del año 2005 en los programas académicos Química General I y Teorías

Tabla 1. Categorías y criterios de análisis propuestos.

Categorías	Nº	Criterio
Aspectos que permitieron construir la Ley Periódica como modelo de enseñanza y modelos científico	1	La importancia de la ubicación de los elementos químicos en el desarrollo de la tabla periódica
	2	La importancia de la predicción como apoyo de la Ley Periódica
	3	La relación Ley Periódica y tablas periódicas
	7	La Ley Periódica como modelo de enseñanza.
Modelos científicos como categoría epistemológica para dar cuenta de la química como ciencia	4	Contribución de Mendeléiev: Ley, teoría o modelo científico.
	10	Diferentes propuestas de la tabla periódica, como modelo icónico de la Ley Periódica.
Trabajo científico como actividad humana que se construye en comunidad, en un contexto cultural, social determinado	5	La Ley Periódica como construcción comunitaria y progresiva.
	6	Discusiones respecto a la diferencia entre átomo y molécula, pesos atómicos y nomenclatura en el congreso de Karlsruhe.
	8	Inconsistencias en los sistemas periódicos.
	9	Verificación y corrección de las propiedades Periódicas estudiadas para la formulación de sistemas periódicos.

Químicas I de las dos universidades de Bogotá D.C. Colombia ya mencionadas. Para la selección de la muestra se tuvieron en cuenta los libros de Química General a los que tienen acceso los estudiantes de los programas citados en las bibliotecas generales de estas universidades. Específicamente se revisaron los programas analíticos de las asignaturas Teorías Químicas de la Universidad Pedagógica Nacional y Química General I de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El listado de tales programas se consultó con los profesores de esas asignaturas para que indicaran cuáles eran los libros que ellos recomendaron y usaban con más frecuencia. Esta información se complementó con el registro de consultas a textos de química general, en las bibliotecas respectivas. De este procedimiento surgió la selección de los doce textos de enseñanza evaluados.

Finalmente, según los criterios propuestos desde la reconstrucción histórica de la Ley Periódica como modelo de enseñanza y modelo científico establecidos en la primera etapa, se realizó el análisis y la evaluación de los libros seleccionados; se tomaron tres niveles de clasificación para cada criterio propuesto: menciona satisfactoriamente (S), menciona (M) y no menciona (N) (ver anexo II).

Resultados

La evaluación realizada en torno al tratamiento histórico epistemológico y didáctico que se le da a la Ley Periódica en los textos se presenta en la tabla 2.

Teniendo en cuenta los porcentajes obtenidos luego del análisis de las categorías y criterios propuestos en la muestra seleccionada, se encuentra que el 83% reconoce de manera satisfactoriamente la importancia de la ubicación de los elementos químicos en la tabla periódica según sus propiedades físicas y químicas. La importancia de la predicción como aspecto significativo en la formulación de la Ley Periódica es reconocida en los libros de texto de manera satisfactoria en el 42% y en el 25% de manera simple. En cuanto a la relación entre la Ley Periódica como principio que sustenta las propiedades de los elementos químicos y la tabla periódica como modelo icónico que permite evidenciar dichas propiedades, en el 50% de la muestra estudiada se encontró que unas veces se hace mención a la Ley Periódica y otras veces a la tabla periódica como si no existiera relación entre las dos. Además, la denominación de Ley es utilizada indistintamente, es decir, no se describen argumentos que permitan evidenciar el por qué de está atribución.

Tabla 2. Resultados en porcentaje de categorías de análisis y criterios en libros de texto de Química General.

Categorías de análisis	Criterios*	Niveles de clasificación		
		S (%)	M (%)	N (%)
Aspectos que permitieron construir la Ley Periódica como modelo de enseñanza y modelos científico.	1	83	8	8
	2	42	25	33
	3	25	25	50
	7	17	8	75
Modelos científicos como categoría epistemológica para dar cuenta de la química como ciencia.	4	0	50	50
	10	0	0	100
Trabajo científico como actividad humana que se construye en comunidad, en un contexto cultural, social determinado.	5	50	17	33
	6	0	8	92
	8	0	42	58
	9	25	17	58

S: Satisfactoriamente, M: Menciona y N: No menciona.

* Criterios: 1. La importancia de la ubicación de los elementos químicos en el desarrollo de la tabla periódica. 2. La importancia de la predicción como apoyo de la Ley Periódica. 3. La relación Ley Periódica y tablas periódicas. 4. Contribución de Mendeléiev: Ley, teoría o modelo científico. 5. La Ley Periódica como construcción comunitaria y progresiva. 6. Discusiones respecto a la diferencia entre átomo y molécula, pesos atómicos y nomenclatura en el congreso de Karlsruhe. 7. La Ley Periódica como modelo de enseñanza. 8. Inconsistencias en los sistemas periódicos. 9. Verificación y corrección de las propiedades Periódicas estudiadas para la formulación de sistemas periódicos. 10. Diferentes propuestas de la tabla periódica, como modelo icónico de la Ley Periódica.

En la mayoría de los textos estudiados se desconocen los aspectos que permitieron formular la Ley Periódica como modelo de enseñanza. Sólo un 17% de los textos de Química hacen alguna alusión a la elaboración de un libro de texto por parte de Mendeléiev y a la presentación en éste de la tabla periódica. En cuanto a los modelos icónicos de la Ley Periódica, se afirma que los libros de química para la Educación Superior no reconocen representaciones gráficas diferentes a la de Mendeléiev y Seaborg. Desde mediados del siglo XX hasta el momento, existen diferentes modelos para dar cuenta de las propiedades Periódicas de los elementos químicos, no obstante, en los ejemplares evaluados se presentada sólo la tabla larga creada por Seaborg,

denominada también tabla periódica moderna. Los libros de texto poco evidencian el trabajo científico como una actividad humana que se construye en comunidad. Sólo el 50% de la muestra estudiada presenta aspectos que permiten dar cuenta de la Ley Periódica como construcción comunitaria y progresiva; además, no se hace una mención de las inconsistencias que presentaron los sistemas periódicos previos a la presentación de Mendeléiev.

De la misma manera, en cuanto la verificación y la corrección de algunas propiedades periódicas, es un aspecto que en la mayoría de los textos de química no se considera; el 58% no presenta este aspecto como algo fundamental en la actividad científica. Estos hechos demuestran que aún se encuentra presente la visión positivista en los libros de texto y no se reconoce la ciencia como una actividad colectiva que se desarrolla con el trabajo de hombres y mujeres en búsqueda de un objetivo común. También es posible afirmar, luego de la evaluación realizada, que los libros de texto utilizados para la enseñanza de la Química en la Educación Superior, no se referencian documentos de la literatura especiali-

zada. El 25% de la muestra ofrece algunas fuentes complementarias de artículos de revistas reconocidas en el ámbito de la química. A pesar de esto, se evidencia que los libros de química presentan una imagen de ciencia absolutista, donde no se ofrecen espacios para la discusión e innovación de las personas que se dedican a esta actividad.

Por último, es posible afirmar en cuanto al tratamiento histórico epistemológico y didáctico al que tiene lugar la Ley Periódica en los libros de Química General, según los resultados presentados en la tabla 3, que los libros publicados en los últimos años dan más importancia al componente histórico de las ciencias. Sin embargo, es necesario aclarar que la incorporación que se hace es una alusión simple y no desde una perspectiva humana, comunitaria y progresiva; los libros presentan secciones aparte de los contenidos con descubrimientos, hechos y biografías a manera de “dato” no es considerada la problemática que existió, los diferentes puntos de vista, los acuerdos que se establecieron, para admitir, en este caso la Ley Periódica.

Tabla 3. Comparación de los resultados obtenidos en la muestra seleccionada.

Periodo	Libro de texto	Criterios*										Puntaje	
		1	2	3	7	4	10	5	6	8	9	Texto	Promedio por periodo
40's	Postigo, 1942	N	M	N	M	N	N	M	N	N	N	3	3
50's	Selwood, 1958	S	S	S	N	M	N	M	N	M	N	9	9
70's	Barrow, 1975	M	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	1
80's	Pauling, 1980	S	N	S	N	M	N	N	N	N	N	5	5.6
	Herrera y otros, 1980	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	2	
	Mortimer, 1983	S	M	M	N	M	N	S	N	M	S	10	
90's	Garzón, 1999	S	N	S	N	M	N	N	N	N	N	5	8
	Whitten, 1999	S	S	M	N	M	N	S	N	M	S	11	
2000	Zumdahl, 2000	S	S	N	S	N	N	S	M	M	S	12	9.5
2003	Cancio, 2003	S	M	N	N	N	N	S	S	N	M	8	
	Chang, 2003	S	S	N	N	N	N	S	N	M	N	7	
	Petrucci, Harwood y Herring, 2003	S	S	M	S	M	N	S	N	N	M	11	

* Criterios: 1. Señalados en la Tabla 1.

** Todos los libros de texto fueron evaluados según una escala de 0-20 puntos. En cada criterio evaluado se asignó un puntaje de la siguiente manera S: Menciona Satisfactoriamente (2 puntos); M: Menciona (1 punto), y N: No menciona (0 puntos).

Conclusiones e implicaciones para la enseñanza de la Química

- La reconstrucción histórico-epistemológica y didáctica de la Ley Periódica y la evaluación de los doce libros de textos seleccionados efectuada en esta investigación da lugar, permiten afirmar que su formulación y desarrollo emergió, por un lado de la necesidad de organizar sistemáticamente los elementos químicos de acuerdo con sus propiedades, pesos atómicos relativos y valencias. Por otro, la de presentar a los estudiantes la ciencia química de la época de una manera comprensiva, lógica y coherente.
- La Ley Periódica como Ley científica es asumida por la comunidad de profesores como un modelo que permite enseñar diferentes temáticas de la química. Para representarla, el profesorado ha creado modelos iconográficos que permiten aproximar a los estudiantes a la comprensión de los aspectos centrales de la química.
- Los textos analizados no reconocen la categoría epistemológica de modelo científico para dar cuenta tanto del estatuto científico de la química como de la Ley Periódica.
- Los libros de química evaluados no presentan argumentos que diferencien el uso que hacen de modelo, teoría o Ley.
- Aun cuando actualmente se reconoce la importancia y la necesidad del componente histórico en los procesos de educación científica, es notorio que los libros de texto analizados no presentan una imagen de ciencia como actividad humana desarrollada en contextos sociales y culturales específicos. No hacen referencia al hecho de que la Ley Periódica fue una construcción comunitaria que convocó a químicos del siglo XIX, y que dentro de esa comunidad se suscitaron discusiones y acuerdos.
- El desconocimiento de la historia de las ciencias en estos textos se hace notorio puesto que en algunos de ellos se afirma que el trabajo de los científicos es producto de una “idea brillante”, asumiendo que las personas que se dedican a estas actividades científicas son “genios” y no seres humanos, que enfrentan las situaciones propias del día a día.
- De acuerdo con la reconstrucción histórico-epistemológica y didáctica elaborada, la imagen de la actividad científica que presentan los textos de enseñanza es aquella que produce hechos cuestionables puesto que describen “cómo son las cosas”

y “cómo se deben interpretar”; interpretación que debe ser enseñada y aprendida tal cual. No muestran espacios de reflexión para cuestionar las temáticas que se están mostrando.

Referencias

- Bensaude-Vincent, B. Lavoisier: una revolución científica. En: Michel Serres (ed.), *Historia de las Ciencias* (p. 410-435), Ediciones Cátedra Madrid, España, 1991a.
- Bensaude-Vincent, B. Mendeléiev: Historia de un descubrimiento. En: Michel Serres (ed.), *Historia de las Ciencias* (p. 502-525). Ediciones Cátedra Madrid, España, 1991b.
- Brito, A., Rodríguez, M. y Níaz, M. A reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks, *Journal of Research in Science Teaching*, **42**(1) 84-111, 2005.
- Caldin, E.F. The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science. *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, **8**(2) 103-121. Disponible en: <http://hyle.org/journal/issues/8-2/caldin.html>, 2002.
- Camacho González, J. y Pérez Miranda, R. La transposición didáctica de los conceptos calor y temperatura, *Enseñanza de las Ciencias* núm. extra, 2005.
- Camacho González, J. El calor desde los textos de enseñanza. Una precisión indispensable para el estudio de la química, *Revista del Sistema de Práctica Pedagógica y Didáctica del departamento de Química*, 41. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2003.
- Castro, J. La filosofía y la historia de las ciencias en los libros de texto. Un análisis de la teoría evolutiva, *Tecné Episteme Didaxis TE. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*. núm. extra. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 213-215, 2003.
- Cubillos, G. Epistemología e historia en la pedagogía de las ciencias naturales, *Innovación y Ciencia*, **X**(3 y 4) 20-25, 2002.
- Cuéllar, L., Pérez, R. y Quintanilla, M. La propuesta de Ernest Rutherford en los libros de texto en Colombia. Un análisis desde la historia de la ciencia y la visión de transposición didáctica en ellas, *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, 2005.
- Döbereiner, J.W. An Attempt to Group Elementary Substances according to Their Analogies, *Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie*, **15**, 301-317.

- Disponible en: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/dobereiner.html>, 1829.
- Echeverría, J. *Filosofía de la Ciencia*. Akal Ediciones, Madrid, España, 1995.
- Gallego Badillo, R., Gallego Torres, A. y Pérez Miranda, R. Historia de la Didáctica de las ciencias: Un campo de investigación, *Tecné, Espítome y Didaxis*, 12, 125-133, 2002.
- Gallego Torres, A.P. *Contribución del cómic a la imagen de la ciencia* (tesis doctoral). Valencia: Universidad de Valencia, 2002.
- Gieré, R.N. *Explaining Science*. University of Chicago Press, Chicago, USA, 1990.
- Hanson, N.R. *Patrones de descubrimiento, observación y explicación*, Alianza, Madrid, España, 1977.
- Islas, S.M. y Pesa, M.A. Futuros docentes e investigadores se expresan sobre el modelado en física, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2(3), 319-328, 2001.
- Izquierdo, M. La contribución de la teoría del flogisto a la estructuración actual de la ciencia química. Implicaciones didácticas, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1) 67-74, 1988.
- Lakatos, I. *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza, Madrid, EUA, 1983.
- Lockemann, G. *Historia de la química*. México: Uteha, 1960.
- Lombardi, O. La noción de modelo en ciencias, *Educación en Ciencias*, II(4), 5-13, 1998.
- Mathews, M. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2) 255-277, 1994.
- Mendeléiev, D. The Periodic Law of the Chemical Elements, *Journal of the Chemical Society*, 55, 634-56 (FARADAY LECTURE delivered before the Fellows of the Chemical Society in the Theatre of the Royal Institution, on Tuesday, June 4th, 1889). Disponible en <http://web.lemoyne.edu/~giunta/mendel.html>, 1889.
- Mendeléiev, D. A natural system of the elements and its use in predicting the properties of undiscovered elements, *Journal of the Russian Chemical Society*, 3: 25-56. Disponible en <http://www.rod.beavon.clara.net/neweleme.htm>, 1871
- Mendeléiev, D. On the Relationship of the Properties of the Elements to their Atomic Weights, *Zeitschrift für Chemie*, 12, 405-406, 1869. Disponible en <http://web.lemoyne.edu/~giunta/mendeleev.html>, 1869.
- Meyer, J. The nature of the chemical elements as a function of their atomic weights, *Annalen der Chemie, Supplementband*, 7, 354-64. Disponible en <http://www.rod.beavon.clara.net/lotharme.htm>, 1870.
- Moseley, M. A. The high frequency spectra of the elements, *Phil. Mag.* 1024. Disponible en <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/chem-History/Moseley-article.htm>, 1913.
- Muñoz Bello, R. y Bertomeu Sánchez, J. La Historia de la ciencia en los libros de texto: La(s) hipótesis de Avogadro, *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1) 147-159, 2003.
- Newlands, J. On the Law of Octaves, *Chemical News*, 12, August 18, 83, 1864. Disponible en <http://web.lemoyne.edu/~giunta/newlands.html>, 1865.
- Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teachers' professional formation, *Science & Education IHPST* 8, 15-18 July, University of Leeds. 2005.
- Scerri, E. The evolution of the periodic system, *Scientific American*, Septiembre, 279(3) 78-83, 1998.
- Scerri, E., Has the periodic table been successfully axiomatized?, *Erkenntnis*, 47, 229-243, 1997.
- Schneer, C.J., *Mente y materia*, Bruguera, Barcelona, España, 1975.

ANEXO I

Referencias bibliográficas. Libros de texto analizados y evaluados

- Barrow, G. *Química General*, Reverté, Barcelona, España, 2V, 1975.
- Cancio, J. *Química General*, Grupo Editorial Iberoamericana, México, 2003.
- Chang, R. *Química*, McGraw Hill, México, 2003.
- Garzón, G. *Química General con Manual de Laboratorio*, McGraw Hill, Bogotá, Colombia, 1999.
- Herrera, S. y otros. *Química 2: Elementos, familias y funciones orgánicas*, Norma, Bogotá, Colombia, 1980.
- Mortimer, C. *Química*, Grupo Ed. Iberoamericana, México, 1983.
- Pauling, L. *Química General: Una introducción a la química descriptiva y a la moderna teoría química*, Aguilar, Madrid, España, 1980.
- Petrucci, R. Harwood, W. y Herring, F. *Química General*, Prentice Hall, Madrid, España, 2003.
- Postigo, L. *Química General Aplicada*, Ramon Sopena, Barcelona, España, 1942.
- Selwood, P.W. *General Chemistry*, Henry Holt, New York, USA, 1957.
- Whitten, K. *Química General*, McGraw Hill, Madrid, España, 1988.
- Zumdahl, S. y Zumdahl, S. *Chemistry*. Houghton Mifflin, Boston, USA, 2000.

ANEXO II

Niveles de clasificación para la evaluación de la muestra seleccionada

CRITERIO 1. La importancia de la ubicación de los elementos químicos en el desarrollo de la tabla periódica.

Menciona Satisfactoriamente (S): Cuando en el libro de texto se explica como aspecto importante de la tabla periódica la ubicación de los elementos químicos según el peso y número atómico y las demás propiedades periódicas como radio iónico y atómico, densidades, volumen atómico, energía de ionización, entre otras.

Menciona (M): Si en el libro de texto se hace una simple mención de la importancia de la ubicación de los elementos químicos en la tabla periódica.

No Menciona (N): Cuando no se hace referencia en los libros de texto de la importancia de la ubicación de los elementos en la tabla periódica.

CRITERIO 2. La importancia de la predicción como apoyo de la Ley Periódica.

Menciona Satisfactoriamente (S): En el libro de texto se menciona la importancia de la predicción de algunos elementos químicos (Galio, Escandio y/o Germanio) y sus propiedades, como aspecto fundamental de la Ley Periódica.

Menciona (M): Una mención simple de las predicciones de Mendeléiev, respecto a la existencia de elementos aún desconocidos y sus propiedades físicas y químicas.

No Menciona (N): No hace referencia a este criterio.

CRITERIO 3. La relación Ley Periódica y tablas periódicas.

Menciona Satisfactoriamente (S): Cuando en los libros de texto se menciona que la Ley Periódica, es la formulación de unos principios generales para los elementos químicos según sus propiedades físicas y químicas. La tabla periódica es la representación gráfica de esta Ley y permite observar la relación entre los elementos químicos y sus propiedades.

Menciona (M): En el libro sólo se hace una mención simple de la relación que existe entre la Ley Periódica y su modelo icónico, la tabla periódica.

No Menciona (N): No menciona la relación entre la Ley Periódica y la tabla periódica.

CRITERIO 4. Contribución de Mendeléiev: Ley, teoría o modelo científico.

Menciona Satisfactoriamente (S): Si en el texto analizado se mencionan las razones que permiten concluir que la contribución de Mendeléiev es Ley teoría o modelo. Es posible que el libro pueda aceptar cualquier de las tres alternativas propuestas.

Menciona (M): Si en el libro de texto se menciona que la contribución de Mendeléiev corresponde a alguna de las tres alternativas propuestas, pero no menciona ningún aspecto que haga referencia a esta denominación.

No Menciona (N): No hace mención de alguna categoría epistemológica para comprender la naturaleza científica de la propuesta de Mendeléiev.

CRITERIO 5. La Ley Periódica como construcción comunitaria y progresiva.

Menciona Satisfactoriamente (S): En el libro de texto se menciona que la formulación de Mendeléiev corresponde a una problemática a la que se enfrentaron varios químicos de la época, con el objetivo de dar cuenta de la organización de los elementos químicos descubiertos hasta la época. De esta manera se reconoce la importancia del trabajo científico en comunidad.

Menciona (M): Se hace mención superficial del trabajo colectivo de la comunidad de químicos para formular la Ley Periódica en 1889.

No Menciona (N): Este criterio no se menciona en el libro de texto.

CRITERIO 6. Discusiones respecto a la diferencia entre átomo y molécula, pesos atómicos y nomenclatura en el congreso de Karlsruhe.

Menciona Satisfactoriamente (S): Se menciona en el libro de texto la importancia que tuvo el Congreso de Karlsruhe como un espacio en el que por primera vez los químicos se reunieron estableciendo acuerdos y suscitando discusiones al respecto de temáticas que los convocaban.

Menciona (M): Hace una simple mención del Congreso de Karlsruhe, pero no afirma que fue un espacio de discusión y de acuerdos importantes en la consolidación de los químicos como comunidad de científicos.

No Menciona (N): No hace mención del Congreso de Karlsruhe.

CRITERIO 7. La Ley Periódica como modelo de enseñanza.

Menciona Satisfactoriamente (S): Hace referencia a la Ley Periódica como una reflexión de profesores que estaban preocupados por la enseñanza de la química y que decidieron crear libros de texto y representaciones gráficas, que diera cuenta de ese conocimiento.

Menciona (M): Menciona de manera simple que Mendeléiev y Meyer eran profesores y/o que crearon libros de texto de química.

No Menciona (N): Este criterio no es mencionado en el libro de texto analizado.

CRITERIO 8. Inconsistencias en los sistemas periódicos.

Menciona Satisfactoriamente (S): Si en el libro de texto se mencionan las inconsistencias que presentaron los sistemas periódicos propuestos previos a la formulación de Mendeléiev, reconociendo que el conocimiento científico se construye progresivamente a partir de algunas ideas que en un momento determinado fueron rechazadas.

Menciona (M): Hace referencia al menos a un sistema periódico que fue rechazado por presentar ideas que no fueron aceptadas por la comunidad de especialistas de la época.

No Menciona (N): No hace mención de las inconsistencias que presentaron los sistemas periódicos.

CRITERIO 9. Verificación y corrección de las propiedades periódicas estudiadas para la formulación de sistemas periódicos.

Menciona Satisfactoriamente (S): Si en el libro de texto se citan las correcciones de los pesos atómicos y el cambio de ubicación de algunos elementos químicos, aspectos que permitieron la formulación de una ley científica, denominada Ley Periódica.

Menciona (M): Hace mención de algunas de las propiedades periódicas que fueron verificadas y corregidas para poder establecer la Ley Periódica.

No Menciona (N): No se hace referencia en el libro de texto de este criterio.

CRITERIO 10. Diferentes propuestas de la tabla periódica, como modelo icónico de la Ley Periódica.

Menciona Satisfactoriamente (S): En el libro de texto se presentan menos de tres modelos icónicos diferentes para explicar la Ley Periódica, de manera que se evidencian otras representaciones gráficas que permiten dar cuenta de la ley formulada por el químico ruso.

Menciona (M): Se muestra un modelo icónico diferente al propuesto por Mendeléiev y Seaborg a mediados de la década de los noventa (tabla larga).

No Menciona (N): Sólo presenta el modelo propuesto por Mendeléiev y/o Seaborg como representación icónica de la Ley Periódica.