

APLICACIÓN DEL MODELO DE STEPHEN TOULMIN AL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE LEY PERIÓDICA¹

**JOHANNA CAMACHO;¹ MARIO QUINTANILLA;² LUIGI
CUÉLLAR;³ ÁLVARO GARCÍA⁴**

^{1,2,3} GRUPO DE REFLEXIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
E INVESTIGACIÓN APLICADA (GRECIA), DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA,
FACULTAD DE EDUCACIÓN, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.

⁴ GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA,
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, BOGOTÁ,
COLOMBIA.

Palabras clave: *Toulmin, ley periódica, evolución de conceptos científicos, historia de la ciencia*

Application of Stephen Toulmin's Model to the study of the evolution of the concept of periodic law

Summary: *The objective of this article is to apply the Toulmin's evolution model for the concept of periodic law. From the first attempts of systematization of the chemical elements with Döbereiner's proposal (1829) to the consolidation of this law with Moseley's works (1913). This analysis is made in order to demonstrate some contributions of history of science, like a meta-scientific field, that can contribute to understand how scientific knowledge is constructed, which is an excellent aspect for science education.*

Key words: *Toulmin, periodic law, evolution of scientific concepts, history of science*

1. La versión final de este artículo se desarrolla dentro del marco del proyecto FONDECYT 1070795 financiado por CONICYT Chile por el período 2007-2009.

Introducción

Reconocer la importancia de la historia de la ciencia y su enseñanza consolida la necesidad de proponer nuevas actividades educativas que permitan resignificar la actividad científica escolar y que, además, contribuyan a considerar la ciencia como una actividad humana de educación, innovación, evaluación y aplicación, contextos que, como plantea Echeverría (1995), interactúan e influyen recíprocamente en el desarrollo y evolución de la ciencia. Para comprender el análisis histórico realizado, se considera la propuesta epistemológico-metodológica del modelo teórico de Stephen Toulmin (1977), el cual permite dar cuenta de la explicación del cambio científico en términos de cambio conceptual en la historia de la ciencia. El autor propone, en analogía con el sistema de evolución de Darwin, el estudio de los conceptos científicos como unidad básica de aproximación a los objetos y problemas de las disciplinas intelectuales. Para ello, considera que la naturaleza de los problemas conceptuales de la ciencia surge por la distancia que hay entre los ideales explicativos, que no representan sólo las esperanzas lógicamente coherentes de los científicos, sino también sus expectativas razonables sobre la disciplina, y las posibilidades reales de la investigación científica.

Este artículo tiene como propósito sustentar cómo se construye conocimiento científico en determinado momento histórico y cuáles son las herramientas conceptuales y metodológicas que se utilizan para alcanzar las finalidades propuestas. Para ello, se aplicó el modelo de Toulmin al concepto de ley periódica, desde los primeros intentos de sistematización de los elementos químicos con Döbereiner hasta los trabajos propuestos por Moseley, quien consolidó los principios de esta ley formulada por Mendeléiev en 1889. Consideramos que este modelo permite contribuir a la comprensión de una *racionalidad moderada* acerca de los hechos, fenómenos, métodos y contextos en los que dicho conocimiento se produce, se divulga y se enseña, aspectos relevantes para la formación de profesores de ciencias y para la enseñanza de la ciencia en general y de este concepto en particular.

Este modelo de cambio científico, además de proporcionar categorías para comprender el desarrollo histórico y evolutivo de las ciencias, incorpora criterios que intervienen en la selección de variantes conceptuales, en aquellos casos *claros*, es decir donde hay cambios rutinarios y estos criterios están bien definidos, y en aquellos casos *nebulosos*, en donde hay casos excepcionales donde lo que se pone en cuestión son los propios criterios de racionalidad. En ambos casos, se consideran los factores internos que giran alrededor del concepto en madurez, como por ejemplo, los aspectos relacionados con los modelos matemáticos, la disponibilidad de instrumentos, entre otros, y los factores externos, como los sociales, valóricos, políticos, religiosos. Esto permite afirmar que la construcción de conocimiento científico y la evolución de los conceptos subyacen de manera compleja y que existen determinados contextos, situaciones y problemas a los que se enfrentan los científicos a la hora de proponer determinadas teorías que les permitan describir y representar las ideas sobre el mundo, donde el juicio personal, la comunidad que integran, los contextos a los que pertenecen, determinan su propia acción.

Aplicación del modelo de Stephen Toulmin al concepto de ley periódica

Desde la propuesta de Toulmin, se establece que existen tres maneras alternativas de representar el proceso histórico del cambio conceptual (no excluyentes entre sí). Cada una de ellas corresponde a un corte de tiempo sucesivo a través del contenido intelectual de la disciplina, es decir, mediante la evolución de cada uno de los conceptos científicos que la constituyen. La primera vía, denominada *transversal*, analiza el proceso en una secuencia de «conjuntos representativos», que abarquen la totalidad de los conceptos vigentes en la disciplina en tiempos sucesivos. Esta vía permite enfocar la atención a cuestiones concernientes a la racionalidad, precisamente en lo que respecta a los cambios «no lógicos» entre conjuntos representativos sucesivos de conceptos. La vía *longitudinal* o *genealógica* considera el desarrollo posterior y el destino ulterior de conceptos particulares a lo largo de toda la historia de su vida. Esta vía hace aún más evidente la continuidad racional. La tercera vía, *evolutiva* o *combinada*, permite analizar el cambio conceptual como el resultado de un proceso dual de variación conceptual y selección intelectual. En esta vía se registra explícitamente el hecho de que sólo algunos de los conceptos corrientes de una disciplina son, en cualquier etapa en particular, temas activos de debate e innovación.

Para el concepto *ley periódica*, se decidió abordar la vía evolutiva (figura 1) con el propósito de dar cuenta de cómo se desarrolló este concepto en la historia de la química del siglo XIX y de presentar argumentos que permitan demostrar dicha evolución como un proceso dual de innovación o variación conceptual y selección intelectual. Cada uno de los símbolos que se presentan mediante la vía evolutiva corresponde a un concepto específico que surgió en un momento histórico determinado y que, tras su desarrollo, innovación y cambio, permitió que se consolidara el concepto científico de ley periódica (anexo 1).

A propósito de la variación conceptual, es posible afirmar que durante el desarrollo de la ley periódica se iban verificando proposiciones en la medida que aparecían nuevos conceptos que permitían dar cuenta del problema particular; el propósito no fue «verificar la verdad o la falsedad de una proposición empírica o medir las frecuencias requeridas como medidas de probabilidad» (Toulmin, 1977: 213), sino que esta variación correspondió a la idea de «cómo pueden ser reordenados nuestros conceptos para obtener un cuadro «mejor» —esto es, más exacto, más detallado y, en general, más inteligible— de los objetos, sistemas y sucesos involucrados» (Toulmin, 1977: 213). Además, como se evidenció en la sección anterior, la ley periódica fue una tarea comunal, requisito indispensable para poder reconocerla como variante conceptual genuina, «se necesita algo más que las reflexiones personales de individuos de mente abierta para crear un conjunto efectivo de variantes conceptuales en una ciencia [...] Es decir, debe considerarse que la innovación individual brinda una posible manera de abordar los problemas que son la fuente de insatisfacción colectiva» (Toulmin, 1977: 213-214).

La ley periódica ha permanecido en la historia de la química luego de la formulación en 1889 hasta nuestros días, como se puede ver en las diferentes publicaciones que aún la

utilizan como objeto de trabajo y de discusión² o como posible manera de abordar la problemática de la enseñanza de las propiedades de los elementos químicos.³ En cuanto a la selección intelectual que establece Toulmin para dar cuenta de las razones y causas que permitieron la evolución conceptual, es posible establecer que el cambio conceptual de la ley periódica se produjo como la actividad colectiva en búsqueda de la solución del problema de organización de los elementos químicos. Los cambios relevantes que se expusieron para que pudiese emerger el concepto de ley periódica quedaron en evidencia gracias a consideraciones intelectuales relevantes, y esto, entre otros aspectos, permitió que la formulación de Mendeléiev fuera acogida por la comunidad de especialistas, en la medida que además de proporcionar aspectos explicativos, también sustentó su propuesta en aspectos predictivos, efectos colaterales que fueron «en pro de la innovación conceptual más poderosa que sus consecuencias previstas» (Toulmin, 1977: 233).

Consideraciones finales y aportes para la enseñanza de la ley periódica

El análisis anterior proporciona argumentos que pueden contribuir a una mejor enseñanza de la química, en particular del concepto elegido. El uso de la historia de la ciencia para argumentar la evolución de la ley periódica pone de manifiesto una manera de interpretar cómo se construye conocimiento científico desde una perspectiva naturalizada de la ciencia, donde aspectos como la selección e innovación conceptual son fundamentales para el desarrollo de una disciplina científica.

El desarrollo de la vía evolutiva Toulminiana, para la ley periódica, permite visualizar la dinámica progresiva de la comunidad científica, lo mismo que la manera como se formuló este concepto correspondió a varias necesidades: en principio, establecer un orden coherente entre las sustancias químicas que existían según sus propiedades; posteriormente, la búsqueda de un principio explicativo que diera cuenta de dicha organización y además, la necesidad de proporcionar nuevos recursos que facilitaran la enseñanza de estas temáticas, de manera que se favoreciera su comprensión en los estudiantes principiantes. Dentro de este análisis se presenta, además, la progresión de algunos conceptos, el abandono de otros y algunas variantes como, por ejemplo, la predicción y confirmación de los elementos y sus propiedades, lo que permitió fortalecer los principios explicativos y lograr consolidarlos, a pesar de las dificultades que se presentaban en la época que se estudiaron con los instrumentos y conocimiento disponibles.

Un aspecto interesante de resaltar es que la ley periódica no sólo se formuló en un momento determinado y luego perdió la característica de innovación genuina, sino que por el contrario es un concepto científico que se ha mantenido vigente, en la medida que la co-

2. Christie & Christie, 2003; Jürgen Schmidt & Baumgärtner, 2003; Scerri, 1998, 2001; Vihalemm, 2003.

3. O. T. Benfey (Earlham Collage, Indiana); P. Demers (Departamento de Química, Allegheny Collège); F. Dufour (Collège Ahuntsic, Montreal); W. Jensen (Universidad de Cincinnati); J. Ray (Universidad de Missouri, Kansas).

munidad de químicos y educadores la reconoce, la trabaja y la enseña. Durante esta evolución conceptual, también se evidenció la incorporación de otros conceptos que, tras su propio desarrollo, se incorporaron para dar cuenta de la ordenación de los elementos de acuerdo a sus propiedades.

Se concluye que el estudio de esta temática desde la perspectiva histórica proporciona aspectos que pueden enriquecer la enseñanza de la química y favorecer la comprensión de actividades propias de la actividad científica, los pactos que delimitan el hacer de los científicos, el valor de las personas relacionado con los contextos en los que se desenvuelve, los compromisos metateóricos que comparten o no los miembros de la comunidad científica, la necesidad de consenso en los presupuestos teóricos y en el lenguaje que los identifica, la coyuntura que subyace para la producción de conocimiento específico (Quintanilla *et al.*, 2005; Izquierdo *et al.*, 2006). A partir de actividades como el estudio de episodios históricos, dramatizaciones de dilemas históricos, lectura de textos históricos o biografías de los científicos, realización de prácticas experimentales que hayan permitido la formulación de conceptos relevantes para la disciplina científica, se puede favorecer el cambio de imagen de ciencia tradicional y dogmática, y promover una imagen de ciencia como la actividad de seres humanos pertenecientes a determinados contextos sociales y culturales; la ciencia como un proceso continuo, no acumulativo, donde los aspectos culturales hacen que existan reelaboraciones de los saberes eruditos previos, acompañados por las nuevas visiones frente al mundo.

Agradecimientos

Los autores Camacho y Cuéllar de esta comunicación expresan sus agradecimientos a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, CONICYT, entidad chilena que patrocina sus estudios doctorales en la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

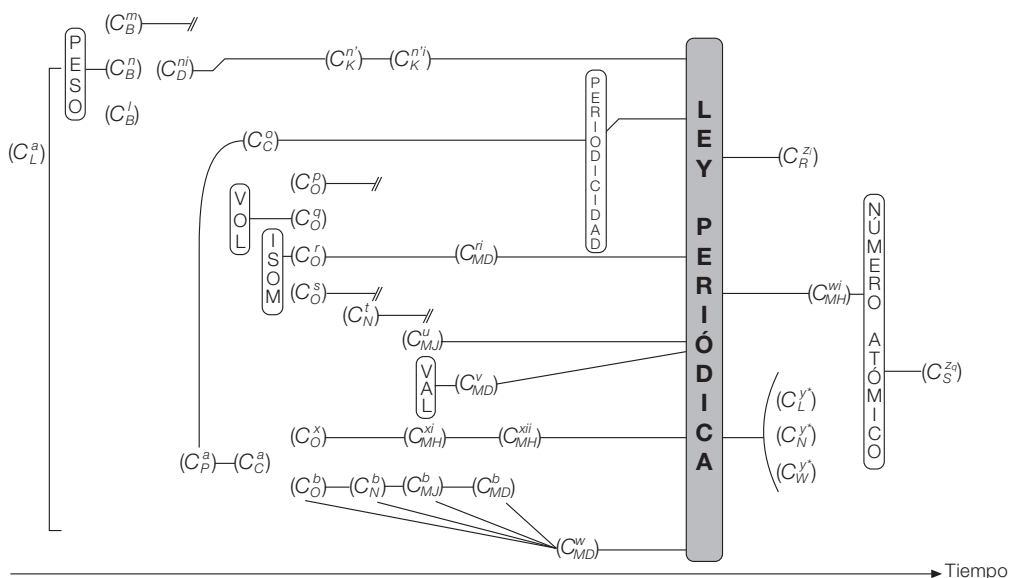
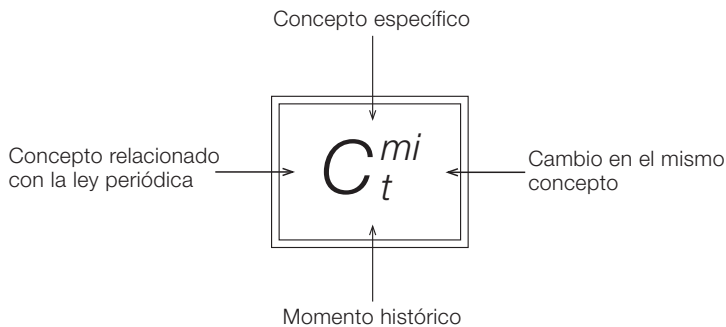


Figura 1. Vía evolutiva del concepto *ley periódica*.

ANEXO I



Conceptos específicos:

a-b Se refiere a conceptos que fundamentaban la formulación de un principio para la sistematización de los elementos químicos.

m-w Se refiere a conceptos relacionados con las propiedades químicas de los elementos químicos.

x-z Se refiere a conceptos que surgieron luego de la formulación de la ley periódica.

Símbolos para la representación evolutiva de la ley periódica.

Símbolo	Momento histórico	Concepto
(C_L^a)	Antoine Lavoisier (1743-1794)	Clasificación de sustancias simples
(C_B^m)	Jöns Jacob Berzelius	Naturaleza eléctrica de las sustancias
(C_B^n)	(1779-1848)	Pesos atómicos
(C_D^n)	Döbereiner (1780-1849)	Pesos atómicos
(C_P^a)	Joseph Louis Proust (1754-1826)	Hipótesis de Proust
(C_C^o)	Alexander Béguyer de Chancourtois (1820-1886)	La organización de las sustancias se basó a partir de una sustancia elemental
(C_C^o)		Periodicidad
(C_O^o)	William Odling (1829-1921)	Formulación de una ley que diera cuenta de la organización de las sustancias
(C_O^o)		Calor
(C_O^o)		Volúmenes atómicos
(C_O^o)		Isomorfismo
(C_O^o)		Basicidad y acidez de las sustancias
(C_O^o)		Espacios en blanco
(C_N^o)		John Newlands (1838-1898)
(C_N^i)		Equivalencias
(C_R^i)	Congreso de Karlsruhe	Pesos atómicos de Gerhardt
(C_{MJ}^b)	Julius Lothar Meyer (1830-1895)	Ley periódica
(C_{MJ}^u)		Incluir los metales de transición entre el hierro y el níquel
(C_{MJ}^{si})		La existencia de algunos elementos aún sin descubrir
(C_{MJ}^p)	Dimitri I. Mendeléiev (1834-1907)	Ley periódica
(C_{MD}^i)		Pesos atómicos
(C_{MD}^i)		Isomorfismo
(C_{MD}^v)		Valencias de los elementos
(C_{MD}^v)		Principios que sustentan la ley periódica
(C_{MD}^{si})		Existencia de otros elementos
(C_L^r)		Paul Émile Lecoq (1875)
(C_N^r)	Lars Fredrick Nilson (1879)	Escandinavo
(C_W^r)	Clemens Alexander Winkler (1886)	Germanio
(C_R^r)	John Rayleigh (1842-1919) William Ramsay (1852-1916)	Gases nobles
(C_{MH}^{wi})	Moseley (1913)	Número atómico
(C_S^{z2})	Glenn Theodore Seaborg (1912-1999)	Lantánidos, actínidos y superactínidos

Bibliografía

CAMACHO GONZÁLEZ, J. (2005), «Ley periódica. Una reflexión didáctica desde la historia de las ciencias», Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. [Tesis de maestría para la obtención del título de magíster en docencia de la química]

CHRISTIE, J.; CHRISTIE, M. (2003), «Chemical laws and theories», *Foundations of Chemistry*, **4** (2), 81-103.

ECHEVERRÍA, J. (1995), *Filosofía de la ciencia*, Madrid, Akal.

IZQUIERDO, M.; VALLVERDÚ, J.; QUINTANILLA, M.; MERINO, C. (2006), «Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II», *Alambique*, **48**, 78-91.

JÜRGEN SCHMIDT, H.; BAUMGÄRTNER, H. (2003), «Changing ideas about the periodic table of elements and student's alternative concepts of isotopes and allotropes», *Journal of Research in Science Teaching*, **40** (3), 257-277.

QUINTANILLA, M.; IZQUIERDO, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005), «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* [University of Leeds], **8** (julio), 15-18.

SCERRI, E. (1998), «The evolution of the periodic system», *Scientific American*, **279** (3) (septiembre), 78-83.

— (2001), «Special issue on the periodic system of the elements», *Foundations of Chemistry*, **3**, 97-104. [Versión electrónica]

TOULMIN, S. (1977), *La comprensión humana*, vol. 1: *El uso colectivo y la evolución de conceptos*, Madrid, Alianza.

VIHALEMM, R. (2003), «Are laws of nature and scientific theories peculiar in chemistry? Scrutinizing Mendeleev's Discovery», *Foundations of Chemistry*, **5** (1), 7-22.

**III JORNADA D'HISTÒRIA
DE LA CIÈNCIA
I ENSENYAMENT**

Sessió III

