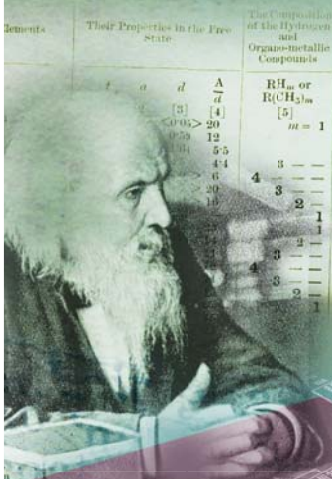
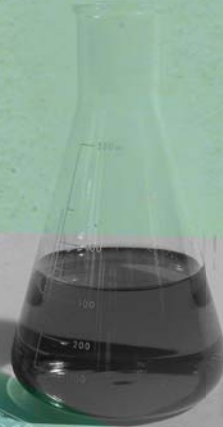


Química:

Historia, Filosofía y Educación



Their Properties in the Free State.		The Composition of the Hydrates and Organometallic Compounds.	
t	a	A	a
[3]	[4]	RH _m or	R(CH ₃) _m
>20	12	[5]	$m = 1$
12	5-5		
4-4	4-4	3	—
6	20	4	—
20	10	3	—
10	—	2	—
—	—	1	—
—	—	1	—
—	—	2	—
—	—	3	—
—	—	4	—
—	—	5	—
—	—	6	—
—	—	7	—
—	—	8	—
—	—	9	—
—	—	10	—
—	—	11	—
—	—	12	—
—	—	13	—
—	—	14	—
—	—	15	—
—	—	16	—
—	—	17	—
—	—	18	—
—	—	19	—
—	—	20	—
—	—	21	—
—	—	22	—
—	—	23	—
—	—	24	—
—	—	25	—
—	—	26	—
—	—	27	—
—	—	28	—
—	—	29	—
—	—	30	—
—	—	31	—
—	—	32	—
—	—	33	—
—	—	34	—
—	—	35	—
—	—	36	—
—	—	37	—
—	—	38	—
—	—	39	—
—	—	40	—
—	—	41	—
—	—	42	—
—	—	43	—
—	—	44	—
—	—	45	—
—	—	46	—
—	—	47	—
—	—	48	—
—	—	49	—
—	—	50	—
—	—	51	—
—	—	52	—
—	—	53	—
—	—	54	—
—	—	55	—
—	—	56	—
—	—	57	—
—	—	58	—
—	—	59	—
—	—	60	—
—	—	61	—
—	—	62	—
—	—	63	—
—	—	64	—
—	—	65	—
—	—	66	—
—	—	67	—
—	—	68	—
—	—	69	—
—	—	70	—
—	—	71	—
—	—	72	—
—	—	73	—
—	—	74	—
—	—	75	—
—	—	76	—
—	—	77	—
—	—	78	—
—	—	79	—
—	—	80	—
—	—	81	—
—	—	82	—
—	—	83	—
—	—	84	—
—	—	85	—
—	—	86	—
—	—	87	—
—	—	88	—
—	—	89	—
—	—	90	—
—	—	91	—
—	—	92	—
—	—	93	—
—	—	94	—
—	—	95	—
—	—	96	—
—	—	97	—
—	—	98	—
—	—	99	—
—	—	100	—



International Year of
CHEMISTRY
2011



Rector Universidad Pedagógica Nacional Juan Carlos Orozco Cruz	Rector Universidad Nacional Abierta y a Distancia Jaime Alberto Leal Afanador
Vicerrector Académico Edgard Alberto Mendoza Parada	Vicerrectora Académica y de Investigación Elizabeth Vidal Arizabaleta
Vicerrectora Administrativa y Financiera María Ruth Martínez Hernández	Vicerrectora de Medios y Mediaciones Pedagógicas Gloria C. Herrera Sánchez
Vicerrector de Gestión Universitaria José Domingo Garzón	Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

© Universidad Pedagógica Nacional

ISBN: 978-958-8650-22-7

Primera edición, 2011

Preparación Editorial

Universidad Pedagógica Nacional

Fondo Editorial

Luis Emilio Ávila Rodríguez

Coordinador

Corrección de estilo

Juliana Avella Vargas

Diseño y diagramación

Juan Camilo Corredor Cardona

Prohibida la reproducción total o parcial sin permiso escrito
de la Universidad Pedagógica Nacional

Autores

José Ramón Bertomeu Sánchez
Universitat de València-CSIC (España)

William Jensen
Universidad de Cincinnati (USA)

Jeffrey Seeman
Universidad de Richmond (USA)

Mark House
Giant Steps Research (USA)

José Vicente Talanquer
Universidad de Arizona (USA)

José Antonio Chamizo
Universidad Nacional Autónoma de México (México)

Alexánder Stip Martínez, Ruth Esmeralda Sánchez y María Cristina Gamboa
(Compiladores)

Colaboradores de la edición y Grupo Organizador del Seminario Internacional
Química: Historia, Filosofía y Educación (2011)

Sandra Sandoval Osorio – Profesora Departamento de Química UPN

Ruth Esmeralda Sánchez Sánchez – Egresada Maestría en Docencia de la Química UPN

Alba Gómez Hernández – Egresada Maestría en Docencia de la Química UPN

Andrés Leonardo Rodríguez Martínez – Estudiante Licenciatura en Química UPN

Sandra Merchán Molina – Egresada Licenciatura en Química UPN

María Cristina Gamboa Mora – Escuela de Ciencias de la Educación de la Universidad
Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Yenny García Sandoval - Escuela de Ciencias de la Educación de la Universidad
Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Jhon Jairo Briceño Martínez

Contenido

PRESENTACIÓN	7
Lógica, historia y los textos de química: replanteamiento y actualización	11
Cinco preguntas básicas	14
La jerarquía física	15
La barrera de la terminología especializada	17
El postulado fundamental de la química	18
¿Dónde queda la historia de la química?	21
Referencias bibliográficas	23
Pedagogía química y circulación de la ciencia: el sistema periódico de los elementos durante el siglo XIX	25
Las clasificaciones químicas y la labor creativa de los profesores de ciencias	27
La recepción de la clasificación periódica en los manuales de química	30
José Muñoz del Castillo y la hipótesis cósmica	33
Conclusiones	37
Referencias bibliográficas	40

Responsible conduct of research in academic chemistry in the United States 43

Results and discussion 45

The survey 45

Receiving or not receiving credit (Seeman and House, 2010b) 45

Giving or not giving credit (Seeman and House, 2010a) 47

Conclusions 52

Acknowledgments 53

References 53

Educación química: escuchando la voz de la historia y la filosofía 55

Los problemas de la enseñanza 56

Los problemas del aprendizaje 59

Conclusiones 62

Referencias bibliográficas 63

La alterativa histórico-filosófica al currículo dominante de química propuesta por Stephen Toulmin 67

Antecedentes 68

La postura filosófica detrás del currículo dominante 69

La alternativa histórico-filosófica propuesta por Stephen Toulmin 73

Referencias bibliográficas 78

Pedagogía química y circulación de la ciencia: el sistema periódico de los elementos durante el siglo XIX¹

Bertomeu Sánchez, José Ramón

bertomeu@uv.es

Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero

(Universitat de València-CSIC)

El sistema periódico es uno de los componentes fundamentales de la química contemporánea. Al igual que ocurre con otros aspectos de la ciencia, el sistema periódico de los elementos presenta una gran variedad de significados que pueden analizarse desde un punto de vista histórico. Lo más habitual es considerarlo como una clasificación de los elementos que, a través de varias representaciones gráficas, es utilizada como herramienta didáctica para la enseñanza de la química. También suele definirse como una ley con capacidad para predecir el crecimiento del número de elementos conocidos, tal y como parece probar el reciente anuncio del hallazgo del ununseptio. En este contexto, la tabla periódica ha servido para alimentar discusiones sobre la reducción de la química a los principios de la mecánica cuántica y la capacidad de esta teoría para abordar los fenómenos asociados con la química. También ha habido controversias, algunas de ellas muy recientes, sobre la mejor forma de representar gráficamente la ley periódica, así como sobre su alcance y limitaciones, especialmente para los últimos elementos conocidos. Por otra parte, más allá de los límites de la comunidad científica, la tabla periódica forma parte de las imágenes

1 Una versión ampliada de algunos aspectos tratados en este artículo ha sido publicada en J. R. Bertomeu Sánchez y R. Muñoz (2011), *Darwinismo inorgánico, pedagogía química y popularización de la ciencia: el sistema periódico en España a finales del siglo XIX*. En: J. Antonio Díaz (ed.) (2011), *La circulación del saber científico en los siglos XIX y XX*, Valencia, IHMC.

más populares de la química. A través de la educación secundaria, gran parte de la población se ha familiarizado con alguna de sus formas estandarizadas, que también se pueden encontrar en museos de ciencia y obras de divulgación. De este modo, el sistema periódico juega un papel importante en la memoria colectiva de la comunidad química y constituye un tema habitual en la mayor parte de obras generales de historia de la ciencia. El número de protagonistas de la narración es variable, pero uno de ellos suele ocupar una posición central: Dmitri Ivanovich Mendeléiev (1834-1907).

Según una de las versiones más difundidas, la ordenación periódica fue producto de un sueño de Mendeléiev, durante el cual se le reveló súbitamente el nuevo orden de los elementos. Otras narraciones afirman que el químico ruso llegó a elaborar esta clasificación a través de un juego de cartas (un «solitario químico») que realizó mientras pensaba cómo ordenar los elementos para su manual de química. Esta versión del descubrimiento fue ya descrita por Mendeléiev en una de las últimas ediciones de su manual de química y ha servido para alimentar las imágenes populares sobre los momentos «*eureka*» de la ciencia, dando lugar a numerosas aplicaciones didácticas y a versiones novelísticas y cinematográficas de los hechos, algunas de las cuales incluyen reproducciones aparentemente contemporáneas del famoso juego de cartas de Mendeléiev. En realidad, como ha ocurrido con otros acontecimientos semejantes, numerosos estudios se han encargado de desmontar esta narración idealizada, situando así el trabajo de Mendeléiev en un contexto más amplio, dentro de las aportaciones semejantes que realizaron otros muchos autores en esos mismos años.

Siguiendo esta línea, en el presente artículo se revisarán algunos trabajos recientes sobre la historia del sistema periódico que conectan dos líneas de investigación muy importantes de los últimos años: la historia de las prácticas de enseñanza (Rudolph, 2008) y el estudio de la circulación de la ciencia (Gavrolu et al. 2008). Se resumirán las principales conclusiones de un grupo de investigación que lleva trabajando varios años sobre esta cuestión, aunque el centro de atención será la circulación del sistema periódico en España durante las dos últimas décadas del siglo XIX.

El artículo comienza con un análisis de la pedagogía química del siglo XIX para mostrar el papel creativo de los profesores de ciencias en la formulación de las clasificaciones naturales que empleó Mendeléiev. En el siguiente apartado, se analiza la maleabilidad del sistema periódico para adaptarse a diversos

escenarios, adquiriendo nuevos significados en el marco de conferencias, artículos y manuales que popularizaron las novedades entre un público amplio, más allá de los límites reducidos de la comunidad científica. En este punto, el centro de atención será la «hipótesis cósmica» del químico español José Muñoz del Castillo, que combinó la clasificación periódica con ideas cosmológicas y evolucionistas. Adoptando siempre que sea posible una perspectiva comparada, el caso estudiado servirá para repensar las imágenes asociadas con las relaciones entre centros y periferias científicos, superando visiones dicotómicas y las interpretaciones referentes a una visión difusionista de la circulación de la ciencia (Gavrolu *et al.* 2008).

Conviene hacer una pequeña precisión terminológica antes de comenzar. Se empleará a lo largo del texto la expresión «sistema periódico» para hacer referencia a las dos expresiones más habituales entre los contemporáneos («ley periódica» y «clasificación periódica»). Cuando se pretenda recalcar alguno de estos dos aspectos del sistema periódico, haremos uso de la expresión «ley periódica» o «clasificación periódica». Es evidente que estas expresiones no son sinónimas y apuntan a diversos aspectos de las investigaciones que aquí analizamos, pero no hay que olvidar que fueron empleadas por los contemporáneos de Mendeléiev y por los historiadores posteriores de modo poco consistente. En realidad, la diversidad de expresiones y su ambigüedad demuestran una de las principales conclusiones de nuestro trabajo: los diversos significados que adquirió el sistema periódico en las últimas décadas del siglo XIX.

Las clasificaciones químicas y la labor creativa de los profesores de ciencias

Pocos años antes de realizar su famosa clasificación periódica y publicar su propio libro de texto, Mendeléiev realizó la traducción de un popular manual de química que había sido publicado pocos años antes por Auguste Cahours: *Leçons de Chimie Générale élémentaire*. Al igual que muchos otros libros de texto franceses de esos, Cahours organizó los elementos no metálicos de su libro en “familias naturales” y dedicó un apartado especial a discutir las bases de esta clasificación (Cahours, 1855). F. Cahours recordaba que varias propiedades químicas (volatilidad, punto de ebullición, carácter metálico, decrecimiento de su afinidad por el hidrógeno y el oxígeno, etc.) variaban de modo gradual, cuando los elementos de cada familia era organizados en orden creciente de sus equivalentes químicos. También constató las variaciones en la

acidez de los compuestos hidrogenados dentro de las familias de elementos homólogos, así como las fórmulas similares de los compuestos, llegando a escribir tablas como las siguientes:

Primera familia [F, Cl, Br, I]: $1/2$ vol. R + $1/2$ vol. de H = 1 vol. RH ácido fuerte

Segunda familia [O, S, Se, Te]: $1/2$ vol. R' + 1 vol. de H = 1 vol. R'H ácido muy débil

Tercera familia [N, P, As, Sb]: $1/2$ vol. R'' + $1/2$ vol. de H = 1 vol. R''H base fuerte

Las similitudes entre estas clasificaciones con las empleadas por Mendeléiev, así como las discusiones sobre las variaciones de las propiedades periódicas realizadas por Cahours, parecen transformarlo en otro de los precursores del descubrimiento del sistema periódico, como suele hacerse con Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849) por sus conocidas «triadas» de elementos, o Jean Baptiste Dumas (1800-1884) por sus menos famosos cálculos sobre pesos atómicos y propiedades químicas. Quizás exagerando un poco, se podría incluso añadir el nombre de Cahours a la larga lista de autores que, en muchas ocasiones, se sitúan junto a Mendeléiev en el descubrimiento del sistema periódico: Alexandre-Emile Beguyer de Chancourtois (1820-1886), John A. Newlands (1837-1898), William Odling (1829-1921) y, muy especialmente, Lothar Meyer (1830-1895), descubrimiento este que documenta Spronsen (1969) y cuya perspectiva epistemológica más reciente circula en E. Scerri (2006). Este camino conduce, inevitablemente, a reforzar las imágenes idealizadas del descubrimiento científico y la actividad científica mencionadas al principio del artículo. Muchas narraciones de este tipo complementan los momentos «eureka» con la búsqueda de «precursores» más o menos olvidados y se pierden en complicadas controversias de prioridad que rara vez conducen a conclusiones interesantes.

Este tipo de narración no parece tener demasiado sentido en el caso que nos ocupa. Muchos libros de texto de mediados del siglo XIX incluían una sección dedicada a discutir las clasificaciones químicas, más o menos similares a las que aparecen en el libro de Cahours. Dicho de otro modo, las clasificaciones de Cahours también tienen sus propios precursores. Si se sigue ese camino historiográfico, se llega rápidamente a una disparatada lista de nombres más o menos desconocidos, que poco puede aportar para analizar el problema que nos ocupa. Para abordar la cuestión de modo más adecuado es necesario

reconocer que las clasificaciones químicas fueron el resultado de la creatividad colectiva de los profesores de química del siglo XIX. Fueron también una consecuencia de los públicos principales a los que dirigían sus obras (médicos y farmacéuticos, sobre todo) y que perseguían una buena descripción de los más importantes productos químicos. Ante el aumento exponencial del número de sustancias conocidas, los profesores de química debían abordar inevitablemente el problema de la ordenación didáctica de las innumerables descripciones de productos químicos. La adopción de una secuenciación adecuada (por ejemplo, agruparlos en familias con propiedades similares) era un asunto crucial para el éxito pedagógico de sus clases y libros de texto. Por ello, ni Cahours ni Mendeléiev fueron los primeros autores de libros de texto que afrontaron el problema de las clasificaciones químicas. Existía una larga tradición de estudios sobre este tema que se remontaba a la segunda mitad del siglo XVIII y que continuó y se amplificó en los años treinta y cuarenta del siglo siguiente con las controversias en torno a las clasificaciones naturales y artificiales (Bertomeu, García y Bensaude-Vincent, 2002).

Debido a la constante aparición de nuevas sustancias y a los cambios en los criterios clasificatorios, era bastante común que los autores de manuales realizaran modificaciones parciales de las clasificaciones existentes, dando lugar a ordenaciones más o menos diferentes a las previamente establecidas. La dinámica propia de la química, que dejaba rápidamente obsoletas las clasificaciones con el descubrimiento de nuevos elementos y compuestos, predisponía a los autores de manuales a mantener una actitud irreverente frente a las propuestas de ordenación anteriores, las cuales debían remodelar necesariamente para acoger las novedades y organizar sus obras conforme a sus concepciones pedagógicas y los intereses de sus públicos destinatarios. De este modo, cuando la clasificación de Mendeléiev circuló por Europa en la década de 1880, encontró una tradición pedagógica plenamente consolidada, en la que era habitual la apropiación crítica y selectiva de numerosas propuestas de secuenciación de los contenidos de los manuales, más o menos basadas en clasificaciones de los elementos según familias naturales. Por ello, los aspectos novedosos que indudablemente presentaban los trabajos de Mendeléiev quedaron atenuados por la gran cantidad de clasificaciones anteriormente propuestas que habían ido llegando en las décadas anteriores.

La recepción de la clasificación periódica en los manuales de química

Debido a las cuestiones comentadas, resulta difícil encontrar referencias al sistema periódico de Mendeléiev en los manuales de enseñanza de química durante la primera década de su publicación (1870-1880). Esta situación se produce en países tan diferentes como Gran Bretaña, Francia, Dinamarca, Suecia o España. Las referencias a la clasificación periódica en los manuales franceses comenzaron a partir de 1880, pero no se generalizaron hasta la década siguiente, situación semejante al caso español Nekoval-Chikhaoui (1994). S. G. Brush (1996), que ha estudiado los manuales ingleses y americanos, indica que las primeras referencias aparecieron poco antes, alrededor de 1877, de modo semejante a lo que ocurrió en los territorios checos. Los únicos contextos donde la circulación de la obra de Mendeléiev parece haber sido algo más temprana, fueron Rusia –por razones obvias– y los territorios alemanes, lo que también se explica por la rápida publicación en alemán del trabajo de Mendeléiev y los trabajos semejantes de Lothar Meyer.

En España, uno de los primeros libros que mencionó la clasificación periódica fue el *Tratado elemental de química general* de Santiago Bonilla Mirat (1844-1899), profesor de química de la Universidad de Valladolid (Bonilla Mirat, 1880). Se trata de un libro de texto que fue positivamente valorado por las autoridades académicas y fue adoptado en muchos institutos y universidades a finales del siglo XIX (Muñoz del Castillo, 1901). Santiago Bonilla mencionaba los trabajos de Mendeléiev y Meyer en un capítulo dedicado al atomismo químico. Señalaba que estos autores habían mostrado la existencia de «relaciones muy importantes entre las propiedades físicas y químicas de los cuerpos y sus pesos atómicos, de tal manera que aquellas están en función *periódica* con estos». También destacaba la gran importancia que habían tenido para la consolidación de los trabajos de Mendeléiev los recientes descubrimientos de los elementos galio y escandio:

Los descubrimientos del escandio y del galio, confirman las especulaciones del químico ruso que predijo la existencia de dichos elementos, habiendo determinado de antemano cuales serían sus principales propiedades [...] De esto se deduce que la clasificación de los elementos químicos fundada en las ideas de Mendéleff, [sic] tiene la ventaja, como todas las clasificaciones en serie, de exponer no solo los términos conocidos, sino también los que aun no se conocen, permitiendo predecir algunas de sus propiedades².

2 Bonilla Mirat (1880), p.p. 45-46. Bonilla citaba la nota recientemente presentada por Berthelot a la Academia de Ciencias de París en julio de 1880, de Lars F. Nilson.

Más adelante, en el habitual capítulo sobre clasificaciones químicas, Bonilla describía la clasificación natural de los metaloides de Dumas y la clasificación artificial de los metales de Thenard, así como, más brevemente, la clasificación de Mendeléiev. En la tercera edición, de 1884, añadió una de las primeras representaciones gráficas de la tabla periódica en manuales editados en España, lo que, con el paso del tiempo, se transformaría en un ingrediente indispensable de cualquier libro de texto de química (Bonilla Mirat, 1880). No obstante, Bonilla no adoptó la clasificación periódica como principio organizativo de su libro y, como otros autores de esos años, prefirió seguir el criterio de la «atomicidad o dinamicidad» (un concepto que podría traducirse por «valencia») para organizar su libro de texto.

El anterior análisis del texto de Bonilla apunta tres aspectos de la circulación del sistema periódico que se repiten en muchos otros casos: el papel decisivo que tuvieron las predicciones de nuevos elementos en la popularización de la propuesta de Mendeléiev; las diversas relaciones que realizaron los autores entre atomismo, pesos atómicos y clasificación periódica; y, finalmente, el escaso papel de la tabla periódica como principio organizativo de los manuales de enseñanza de esos años.

El aumento y la generalización de referencias a la clasificación periódica en los manuales de finales del siglo XIX y principios del XX no deben confundirse con una aceptación acrítica de estos nuevos trabajos. En realidad, muchos otros autores de manuales incluyeron referencias críticas a la clasificación periódica, si bien pocos se atrevieron a calificarla como «la clasificación más imperfecta de cuantas se han fundado», como hizo J. Rodríguez Carraco (1887). Más comunes fueron las críticas menores o las reservas, como las expresadas por Juan Manuel Bellido Carballo, clérigo y profesor de física y química en un colegio católico de Salamanca, quien afirmó en su manual que la ley periódica era una especulación poco adecuada para una ciencia «eminentemente empírica» como la química, «aunque no ajena a hipótesis racionales y legítimas para su avance progresivo» (Bellido Carbayo, 1899).

Los comentarios críticos anteriores respecto a los limitados usos pedagógicos de la clasificación periódica fueron poco comunes. En realidad, lo más habitual fue la ausencia de referencias a los trabajos de Mendeléiev en los manuales de química. Más de la mitad del centenar de los manuales de química publicados en España entre 1870 y 1920 que hemos podido analizar, no incluyeron ninguna referencia a la ordenación periódica. La mayor parte de los autores que sí lo

hicieron se limitaron a describirla, muchos de ellos con una representación gráfica. También hubo bastantes elogios de la exitosa predicción de elementos. Sin embargo, tanto críticos como defensores de la nueva ordenación coincidían con los que ni siquiera la citaron en una cuestión: el escaso o, más bien nulo papel que otorgaron a la clasificación periódica en sus manuales. Incluso los autores que valoraron positivamente la clasificación periódica prefirieron adoptar otras clasificaciones existentes, generalmente con criterios diferentes para el caso de los metaloides y los metales, como había sido común en los años anteriores. Y muchos autores propusieron pequeñas modificaciones sobre las clasificaciones previamente existentes.

En definitiva, se puede afirmar que la clasificación periódica no jugó un papel relevante en la organización de los manuales de química de las últimas décadas del siglo XIX, tanto en el caso de los atomistas como de los antiatomistas, si bien estas posturas pudieron tener alguna importancia en cuanto a la actitud con la que fueron acogidos los trabajos de Mendeléiev. También parece que fue decisivo para la circulación de la tabla periódica, el descubrimiento de los nuevos elementos galio y escandio, que habían sido predichos por Mendeléiev. Muchos autores comenzaron a mencionar la tabla periódica a partir de 1880 y, con mayor frecuencia, a partir de la década siguiente, de modo que resulta habitual encontrar una representación gráfica en los manuales universitarios de química de principios del siglo XX. Por lo general, los autores siguieron o adaptaron clasificaciones anteriores, sobre todo las basadas en la noción de «dinamicidad», para organizar sus obras. La tradición pedagógica decimonónica fue un impedimento tanto para la circulación de la tabla periódica como para el surgimiento de nuevas clasificaciones de los elementos. Sin embargo, a pesar de su escaso valor como herramienta pedagógica a finales del siglo XIX, el sistema periódico tuvo una buena acogida en otros contextos, adquiriendo así significados nuevos. En el siguiente apartado se analizará una propuesta particular realizada por el químico español José Muñoz del Castillo, quien relacionó la tabla periódica con el darwinismo y las teorías sobre el origen y la evolución del universo para realizar una propuesta original que denominó «hipótesis cósmica».

José Muñoz del Castillo y la hipótesis cósmica

José Muñoz del Castillo (1850-1926) inició su carrera como profesor en un centro de enseñanza secundaria para encargarse posteriormente de la enseñanza de la física en la Universidad de Zaragoza. En 1886 fue nombrado profesor en la

Escuela de Ingenieros en Madrid y en 1892 alcanzó la cumbre de su carrera al conseguir la cátedra de química inorgánica de la Facultad de Ciencias de Madrid. Su «hipótesis cósmica» fue desarrollada durante su primer curso en esta Facultad. A lo largo del siguiente año, explicó sus principales características en *La Naturaleza*, una revista dedicada a la divulgación de la ciencia, que compartía título con otras revistas europeas semejantes creadas en esos años. Más adelante publicó un folleto con su clasificación, que detalló en una publicación más completa en 1898 (Muñoz del Castillo, 1898).

Su hipótesis cósmica era una mezcla de la hipótesis nebular de Laplace renovada con las nuevas leyes de la termodinámica y los datos espectroscópicos que ofrecían las primeras informaciones sobre la composición de las estrellas, todo ello en el marco del «darwinismo inorgánico» que habían popularizado en los años inmediatamente anteriores diversos autores como William Crookes (1832-1919) y, en España, Rodríguez Mourelo (1888) y Rodríguez Carracido (1888). Rodríguez Mourelo había escrito una gran cantidad de artículos en revistas de divulgación y realizó numerosas conferencias sobre química en el Ateneo de Madrid. Se encargó de popularizar una visión monista, antiatomista y evolucionista de la química, basada en los trabajos de Marcellin Berthelot y William Crookes. Tal aproximación era propiciada por las limitaciones para la práctica experimental y los intereses de los públicos a los que dirigieron muchos de los escritos. Muchos autores españoles de esos años eran conscientes de que apenas podían realizar aportes originales en el terreno de la experimentación a la tabla periódica, por ejemplo, datos más precisos de pesos atómicos o hallazgo de nuevos elementos mediante técnicas complicadas de análisis químico.

En el Ateneo de Madrid (Villacorta Baños, 1985), Rodríguez Mourelo y Rodríguez Carracido encontraron un público interesado en obtener interpretaciones con base científica de grandes fenómenos naturales, de las que se pudieran extraer consecuencias de orden filosófico o moral para sustentar la nueva filosofía positivista que se abrió camino tras la caída de la 1ª República (Nuñez, 1987). En este sentido, resulta comprensible el interés por las discusiones científicas más recientes acerca del origen del universo o sobre el evolucionismo en general, dentro de las que se situaba el darwinismo inorgánico que se desprendía de la particular interpretación de la ley periódica ofrecida por William Crookes (Brock, 2008).

La ley periódica presentaba, además, otras ventajas para la popularización de la ciencia. Permitía maravillar a los oyentes con promesas tecnológicas asociadas con el futuro descubrimiento de elementos. Rodríguez Mourelo,

que consideraba un modelo la obra divulgadora de John Tyndall (1820-1893) en Inglaterra, afirmaba que un buen trabajo de investigación debía combinar «cuestiones tan oscuras y difíciles, como el origen de los cuerpos simples» con «sus probables usos en la industria del porvenir» (Rodríguez Mourelo, 1888). Esta combinación de la reflexión más teórica con las futuras aplicaciones tecnológicas era una retórica muy adecuada para obtener apoyos y recursos para las ciencias experimentales en España, una batalla en la que se encontraban plenamente involucrados autores como Rodríguez Carracido, Rodríguez Mourelo y Muñoz del Castillo (Macpherson y Rodríguez Mourelo, 1903 en Young, 2011).

En este escenario de popularización de la ciencia debe entenderse la propuesta de Muñoz del Castillo que, como hemos señalado, fue publicada inicialmente en la revista de divulgación *La Naturaleza*. De acuerdo con las ideas evolucionistas, Muñoz del Castillo pretendía establecer una «cosmología química», que debía jugar en las teorías sobre el universo, un papel semejante a la geología de la tierra en la evolución biológica. Su objetivo era estudiar conjuntamente la formación de objetos celestes y de los cuerpos simples en el desarrollo del universo.

Al igual que Rodríguez Mourelo, Muñoz del Castillo pensaba que los cuerpos simples eran valores de una función matemática desconocida que debía incluir entre sus variables la «atracción» química, la electricidad y la «condensación atómica». Sin embargo, a diferencia de Rodríguez Mourelo, Muñoz del Castillo no incluyó planteamientos antiatomistas en su propuesta. Por el contrario, basó parte de su trabajo en la ley de Dulong-Petit, que había sido una de las bases del atomismo del siglo XIX. Su idea era que los cuerpos con menor peso atómico habían sido formados en los momentos iniciales de la evolución del universo, caracterizados por altas temperaturas y escasa condensación nebular, mientras que los elementos con peso atómico más grande habían aparecido posteriormente en planetas como la Tierra, tal y como podía imaginarse a partir de los nuevos análisis espectroscópicos de la luz emitida por las estrellas. En otras palabras, para Muñoz del Castillo, la ordenación de los cuerpos simples en un orden creciente de pesos atómicos era similar a una ordenación temporal según su aparición en el universo:

[La] lista de los cuerpos simples conocidos en la Tierra, arreglada según los pesos atómicos, semeja una ordenación por antigüedad; atribuyendo a tales pesos en el fenómeno cósmico significación análoga a la de la densidad en el terreno de lo físico comparamos un cuerpo en los estados gaseoso, líquido y sólido.

La aportación más original de Muñoz del Castillo fue la creación de tres series de elementos que supuestamente habían aparecido en diversos momentos de la evolución cósmica. Los gases nobles, con pocas características químicas marcadas, debían ser los productos más primitivos. Las tierras raras eran «productos intermedios» de la evolución astroquímica, lo que explicaba la falta de diferenciación entre sus propiedades. Finalmente, los restantes elementos constituían la serie periódica, donde las propiedades variaban con el peso atómico, según las relaciones que había señalado Mendeléiev. En su clasificación, estos tres grupos se denominaban respectivamente «prevalentes», (sin valencia), «valentes» (con valencia fija) y «electro-valentes» (con valencias múltiples y variación periódica) (Muñoz del Castillo, 1899).

Al colocar las tierras raras fuera de la tabla periódica, Muñoz del Castillo estaba dando respuesta a uno de los grandes problemas de la clasificación de Mendeléiev, que difícilmente podía resolverse de manera satisfactoria: la falta de periodicidad en las propiedades de este grupo de sustancias. Muchas otras posibles alternativas fueron discutidas en esos años, desde la distribución de dichos elementos en otros grupos (como lo hizo inicialmente Mendeléiev) hasta la creación de una familia especial, bien dentro o fuera (como sugería Muñoz del Castillo) sobre la tabla periódica. Esta última opción es la que finalmente se ha consolidado, sin que el tema haya dejado de ser polémico hasta nuestros días.

Tampoco en este punto resulta conveniente transformar a Muñoz del Castillo en un pionero olvidado de ideas contemporáneas. Su propuesta debe entenderse en el contexto que hemos descrito anteriormente y teniendo siempre en cuenta los retos que habían planteado las tierras raras tanto a la clasificación periódica como al análisis químico. Debido a la similitud de sus propiedades y a su escasez en la corteza terrestre, muchos supuestos cuerpos simples de este grupo habían sido muy difíciles de aislar y, cuando se obtuvieron, dieron lugar a muchos problemas de identificación, porque los cuerpos considerados inicialmente simples, fueron con posterioridad separados en varias tierras raras, dando lugar a una incertidumbre muy fuerte sobre su condición. En este sentido, y no desde la perspectiva actual, debe entenderse la propuesta de Muñoz del Castillo de extraer a estos grupos de la tabla periódica y afirmar que muchos de ellos eran, en realidad, «cuerpos migmoides», es decir, mezclas de varios cuerpos simples que el análisis químico revelaría en el futuro (Muñoz del Castillo, 1899).

Dejando fuera a los gases nobles y a las tierras raras, los restantes elementos (con excepción del hidrógeno) fueron agrupados en catorce familias naturales,

cada una de ellas ocupando una columna, al frente de las cuales se encontraba un elemento «típico», por regla general el de menor número atómico, que presentaba, de modo más marcado, las principales propiedades comunes del grupo. Además de estas columnas, Muñoz del Castillo establecía «ciclos» de elementos situados en una fila que mostraban una variación «cíclica» de su valencia característica, desde los valores negativos (-1, -2, -3) hasta los positivos (+3,+2, +1).

Para Muñoz del Castillo, su ordenación tenía un valor no sólo didáctico, sino también heurístico. Al igual que otras propuestas de esos años, incluyendo la más famosa realizada por Mendeléiev, su tabla contenía numerosos huecos (marcados por puntos negros) que representaban predicciones de sustancias todavía por descubrir. Entre ellas figuraba «un elemento argenteoide» entre el oro y el mercurio, un elemento que denominó «tessexio» (caracterizado por valencias de 4 y 6) dentro del grupo del silicio y el circonio, y otro elemento con valencias 2, 6 y 8 en el grupo del uranio, entre muchos otros (Muñoz del Castillo, 1898, p. 10). Algunos años después, Muñoz del Castillo publicó un artículo en el que reivindicaba como una predicción exitosa de su tabla el reciente descubrimiento del radio (Muñoz del Castillo, 1903).

En realidad, esta supuesta predicción no fue reconocida por la comunidad internacional, que tampoco prestó mucha atención a su clasificación cíclica, como Muñoz del Castillo también reconoció (Muñoz del Castillo, 1901). Sus últimos trabajos sobre la clasificación cíclica fueron presentados en el acto de recepción en la Academia de Ciencias de Madrid, en febrero de 1901. Delante de los académicos, Muñoz del Castillo propuso un ambicioso programa para una nueva disciplina denominada «estequiología» o ciencia de los elementos, que debía incluir asuntos desde cuestiones generales sobre la taxonomía, la predicción y el aislamiento de los cuerpos simples, hasta la descripción detallada de sus aplicaciones comunes e industriales. Adoptando una retórica que hemos visto ya en los textos de Rodríguez Mourelo, Muñoz del Castillo afirmaba que la nueva disciplina debía producir resultados teóricos y prácticos no solamente en el campo de la ciencia, sino también en la filosofía y en las artes, recalcando además que su propuesta era el medio idóneo «para dar comienzo con fruto a la obra de promover en España la investigación experimental en las ciencias químicas» (Muñoz del Castillo, 1901). El proyecto de la «estequiología» nunca se llevó a cabo, entre otras cuestiones porque Muñoz del Castillo abandonó sus investigaciones para dirigirse hacia la investigación del elemento que supuestamente había predicho su «hipótesis cíclica»: el radio. En los años siguientes,

consiguió afianzar un laboratorio desde el que promovió las aplicaciones agrícolas y médicas de la radioactividad.

Cuando Muñoz del Castillo falleció en 1926, fue reemplazado en la Academia de Ciencias por el espectroscopista Ángel del Campo (1881-1944), quien ofreció un discurso de recepción dedicado a la «evolución del sistema periódico» como homenaje a Muñoz del Castillo. Tras revisar las diferentes propuestas, Ángel del Campo enmarcaba el trabajo de Muñoz del Castillo entre las investigaciones que habían tratado de «hallar en las propias raíces de la periodicidad la causa de sus excepciones», basando su propuesta en la hipótesis nebular de Laplace y asociando la «evolución astronómica» con la «evolución química», lo que le había conducido a «deducir la existencia de series de elementos no periódicas y periódicas y a formular su entonces bien interesante clasificación en la forma conocida por todos» (del Campo Cerdán, 1927). Aunque Ángel del Campo no lo señalaba, este ambicioso planteamiento fue la causa del rápido olvido de la hipótesis cósmica de Muñoz del Castillo, porque la irrupción de las interpretaciones cuánticas del sistema periódico convirtió rápidamente en obsoletas todas las explicaciones formuladas anteriormente.

Conclusiones

En este trabajo se han discutido cuatro perspectivas diferentes para el estudio del descubrimiento y el desarrollo posterior del sistema periódico. En la versión más habitual en libros de texto y en obras de popularización, el sistema periódico es presentado como la obra exclusiva de Mendeléiev, generalmente a través de un momento «*eureka*», bien en forma de sueño o mediante un juego de cartas. En una segunda versión, algo menos simplista que la primera, el sistema periódico es considerado como un «descubrimiento múltiple», realizado casi simultánea e independientemente por varios químicos europeos, debido la coincidencia de toda una serie de circunstancias: la unificación de pesos atómicos, el descubrimiento de nuevos elementos y las clasificaciones en familias naturales.

Frente a este par de narraciones, se han descrito dos nuevas cuestiones que permiten elaborar una novedosa historia del sistema periódico en consonancia con las tendencias historiográficas más recientes: la labor creativa de los profesores de ciencias para elaborar las clasificaciones naturales y los diversos significados adquiridos por el sistema periódico durante su circulación en la Europa de finales del siglo XIX. En el primer caso, las investigaciones están relacionadas con los estudios que han mostrado que la enseñanza es un elemento

clave de la actividad científica, que no se limita a una simple transposición de conocimientos producidos en el mundo académico. Los ejemplos descritos muestran que la enseñanza y la divulgación de las ciencias son escenarios de creación de nuevos conocimientos a través de una compleja interacción entre profesores, divulgadores y sus públicos.

Se ha demostrado también que las características de la enseñanza de la química de principios del siglo XIX propiciaron la existencia de un importante debate sobre las clasificaciones naturales y artificiales que debían adoptarse en la secuenciación de contenidos. Los resultados de esta labor colectiva de los profesores de química fueron las clasificaciones que se encuentran en los manuales de mediados del siglo XIX. Esta situación explica el escaso interés pedagógico que suscitó la propuesta de Mendeléiev en las primeras décadas. El análisis de los manuales escolares muestra que la tabla periódica llegó en la década de 1880, después de la confirmación exitosa de las predicciones de nuevos elementos y sin que su mención supusiera cambios sustanciales en la organización de los libros de texto, algo que muy raramente se produjo antes de la segunda década del siglo XX, cuando la llegada de la química cuántica comenzó a variar lentamente el escenario. Por otra parte, los autores de los manuales de finales del siglo XIX no dejaron de manifestar sus críticas a esta clasificación, tanto por sus escasas potencialidades didácticas como por sus irregularidades y las frecuentes excepciones. Más que una herramienta pedagógica, los autores estudiados vieron en el sistema periódico una posibilidad para avanzar en las discusiones sobre la naturaleza de la materia y las características de los cuerpos simples, que entroncaban con temas más generales sobre el origen del universo o la evolución en el mundo inorgánico. En el caso de España, estos temas resultaban muy atractivos para los públicos que seguían las conferencias y las obras de divulgación de autores como Rodríguez Mourelo, Rodríguez Carracido y Muñoz del Castillo. El Ateneo de Madrid favoreció la discusión de las novedades científicas en un marco filosófico más general, de inspiración positivista y evolucionista. Todo ello permitía ampliar el público interesado en las ciencias naturales y, de este modo, exigir mayores recursos para la investigación experimental, un asunto que preocupaba a muchos químicos de esos años.

De este modo el contexto de apropiación (los protagonistas, las vías de circulación y los públicos destinatarios) antes descrito, favoreció la integración creativa de las investigaciones sobre la taxonomía química con ingredientes de teorías evolucionistas, astrofísicas y cosmológicas, dando lugar a una par-

ticular apropiación de las propuestas de Mendeléiev en España. La singular circulación del sistema periódico en España estuvo condicionada por factores heterogéneos: la existencia de una pedagogía química plenamente consolidada, que impidió su rápida acomodación en los manuales de enseñanza como herramienta pedagógica; el contexto periférico de la ciencia española, que limitó las contribuciones en el terreno de la experimentación, fomentando así una apropiación meramente teórica; los intereses de los públicos de instituciones como el Ateneo, que buscaban en las ciencias naturales un apoyo para las nuevas perspectivas positivistas; los intereses de los divulgadores como Rodríguez Mourelo, que pretendían combinar aspectos altamente teóricos con útiles aplicaciones industriales para reclamar más apoyo público para las ciencias experimentales; y, finalmente, la formación de los autores mencionados, poco especializada y abarcando varias ciencias naturales, que permitió una apropiación de la clasificación periódica por fuera de los límites disciplinares de la química, para apuntar sus relaciones con otras grandes teorías científicas del momento. El resultado más espectacular de todo este proceso fue la hipótesis cósmica de José Muñoz del Castillo, con su particular combinación de ideas cosmológicas, darwinismo inorgánico y clasificaciones naturales de elementos químicos. No es posible generalizar el caso español a otros países de la época. Contextos diferentes transformaron el sistema periódico en punto de partida para otro tipo de debates (por ejemplo, acerca de la existencia de los átomos o sobre su constitución) o para difundir ciertas imágenes sobre la ciencia y su relación con la sociedad (*verbi gratia*, la relación de la ciencia con la modernización económica y social).

Las conclusiones alcanzadas obligan a un replanteamiento de muchas imágenes sobre la producción y la circulación de la ciencia que, aunque han sido ampliamente abandonadas por los historiadores, persisten entre los estudios sobre el caso considerado, en gran medida debido a la confluencia de interpretaciones difusionistas con una imagen heroica del descubrimiento científico y una valoración negativa de la enseñanza y la divulgación de las ciencias como espacio de creación de conocimientos.

El caso del sistema periódico demuestra que muchos manuales de enseñanza continúan equiparando el desarrollo de la ciencia con una sucesión de trabajos de grandes mentes con momentos de inspiración genial, produciendo así una narración fácil de asimilar por estudiantes y profesores, pero que conduce a difundir imágenes muy deformadas de la actividad científica. Para superar esta situación resulta necesario asimilar las nuevas investigaciones sobre historia de

las ciencias (por ejemplo, las descritas en este trabajo) en las imágenes que se transmiten en la enseñanza de las ciencias. Todo ello supone establecer nuevos vínculos entre historia y enseñanza de las ciencias que impliquen nuevos usos didácticos de la historia y una comunicación más fluida entre las diversas disciplinas y los grupos de investigación que trabajan sobre estas cuestiones. El caso analizado, la historia del sistema periódico, es un buen ejemplo de las posibilidades que ofrece esta colaboración.

Referencias bibliográficas

Bellido Carbayo, J. M. (1899). Tratado de química inorgánica en armonía con los adelantos modernos de la ciencia. Madrid: Imp. del Asilo de Huérfanos del Sagrado Corazón de Jesús, p. 76.

Bortomeu, J. R., García, A. y Bensaude-Vincent, B. (2002). Looking for an order of things: textbooks and chemical classifications in nineteenth century. France: Ambix, 49 (2), p.p. 227-251.

Bonilla Mirat, S. (1880). Tratado elemental de química general y descriptiva. Valladolid: Hijos de Rodríguez.

Brock, W. H. (1998). Historia de la química. Madrid: Alianza.

Brush, S. G. (1996). The reception of Mendeleev's periodic law in America and Britain. *Isis*, 87, p.p. 595-628.

Cahours, A. (1855). Leçons de chimie générales élémentaire, professées à l'école centrale des arts et manufactures. Paris: Mallet-Bachelier. P.p. 374-387.

Del Campo Cerdán, A. (1927). La evolución del sistema periódico de los elementos. Madrid: Real Academia de Ciencias, p.p. 7-10; 16-19.

Gavrolu, V. K. *et al.* (2008). Science and technology in the European periphery: some historiographical reflections. *History of Science*, 46 (2), p.p. 153-177.

MacPherson, J. y Rodríguez Mourelo, J. (1903). Nueva representación gráfica de la clasificación periódica de los elementos químicos. *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química*, 1, p.p. 61-64.

Muñoz del Castillo, J. (1898). Cuadros sinópticos relativos a la clasificación natural de los elementos químicos. Madrid: Viuda e hijos de M. Tello.

_____ (1899). Ensayo acerca del significado de las leyes de Dulong y Petit, Mendeleeff y Zenger. Madrid: Viuda e hijos de M. Tello.

_____ (1901). Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Ilmo. Sr. José Muñoz del Castillo. Madrid: Aguado, p.p. 17; 69-73.

_____ (1903). Emplazamiento del radio en la clasificación natural de los elementos químicos. *Anales de Física y Química*, 1, 215-223, p. 216.

Nekoval-Chikhaoui, L. (1994). Diffusion de la classification périodique de Mendeleiev en France entre 1869 et 1934. Tesis doctoral, Université de Paris IX.

Nuñez, D. (1987). La mentalidad positiva en España. Madrid: UAM, p.p. 28-37.

Rodríguez Carracido, J. (1887). La nueva química. Introducción al estudio de la química según el concepto mecánico. Madrid: Nicolás Moya, 1887, p.p. 162.

_____ (1888). Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Sr. D. José Rodríguez Carracido. Madrid: Aguado, p. 23.

Rodríguez Mourelo, J. (1888). El metal cadmio. *La Ilustración Española*, 22-8, p.p. 102-103.

_____ (1888). La edad de las estrellas. *La opinión*, 16-1-1888.

Rudolph, J. L. (2008). Historical writing on science education: a view of the landscape. *Studies in science education*, 44 (1), p.p. 63-82.

Scerri, E. (2006). The periodic table: its story and its significance. Oxford: University Press.

Spronsen, J. W. (1969). The periodic systems of chemical elements. A history of the first hundred years. Amsterdam: Elsevier.

Young, U. de (2011). A vision of modern science. John Tyndall and the role of the scientist in Victorian culture. Hampshire: Palgrave Macmillan.