

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

© 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



Química:

Historia, Filosofía y Educación

Bogotá D.C.
Octubre de 2011

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 alternativa 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

PRESENTACIÓN

Alexánder Stip Martínez
Colegio San Mateo Apóstol

La química ha aparecido históricamente como una extraña entre sus hermanas: de la simiente de la filosofía natural, su consolidación como disciplina no siempre ha resultado muy inteligible, lo que en consecuencia la ha reducido a un arte en la manipulación de los materiales, por una parte, o a una sofisticada aplicación de los conceptos y modelos físicos a la realidad material, por otra. Esta extrañeza epistemológica ya ha sido estudiada con anterioridad (Bensaude-Vincent & Stengers, 1996), y tales son los orígenes de lo que podríamos denominar hoy como filosofía de la química. Sin embargo, la química no sólo goza de una particularidad epistemológica, sino que anima la reflexión histórica y filosófica, además exhibe un particular estatus pedagógico y didáctico, unos problemas específicos y singulares en relación con su enseñanza y aprendizaje.

Tomemos estas dos cuestiones por separado. Recientemente, Jean-Marie Lehn (2011) ha llamado la atención sobre lo variado del dominio de la química que se toca, en sus bordes, con la física en el reino de las partículas subatómicas, mientras se transforma lentamente en biología en el campo de las estructuras supramoleculares. Parece innegable que es la química molecular aquella que se puede distinguir clara y distintamente, al menos desde el siglo XIX. No obstante, tal campo químico parece que se agota en la contemporaneidad de la investigación, pues el enlace químico, el concepto central que nos lleva de los átomos a las moléculas, es hoy por hoy un problema más de la física de partículas que de la misma química (Martínez & Labarca, 2011). Por otra parte, la biología molecular asedia en el frente de las macroestructuras, mientras que la nanotecnología va estableciendo paulatinamente nuevos bloques fundamentales que sirven de base para lo supramolecular. No es sorprendente que en la reflexión filosófica se empiecen a escuchar voces que señalen un agotamiento de la química como disciplina (Bensaude-Vincent & Simon, 2008).

En lo relacionado con los problemas pedagógicos y didácticos de la química, uno de los colaboradores con el que tenemos el placer de contar en este Seminario Internacional ha advertido sobre lo que podría denominarse una primera etapa en la investigación en didáctica de la química: la preocupación por explicar aquellas restricciones que impiden que el estudiantado razone científicamente, y puede rastrearse una amplia producción en el campo desde el cambio conceptual en la década de los ochenta (Talanquer, 2009). Se cuenta en la actualidad con un buen inventario de problemas relacionados con la manera en que los estudiantes enfrentan la química escolar, los estilos de pensamiento y las modelaciones a las que se recurre para el aprendizaje de la misma (Gilbert & Treagust, 2009).

Estos dos campos de investigación -historia y filosofía- así como la didáctica de las ciencias, son los que nos convocan en este Seminario Internacional *Química: historia, filosofía y educación*, que se celebra en el marco del Año Internacional de la Química-2011. Partiendo de la consideración de que la subsistencia de los conocimientos científicos –entre ellos el de la química– depende primordialmente de su espacio en la vida social, y específicamente de los hombres y mujeres que dedican sus vidas a su construcción y cultivo, la educación, en todas sus modalidades y niveles, cumple un rol fundamental en la formación de las nuevas generaciones comprometidas con el uso y comprensión de la química para el desarrollo de la humanidad, siendo inaplazable el reto de establecer un equilibrio sostenible con el ambiente. Desde la presencia de la química en las aulas de clase hasta su aparición en los diferentes espacios de información y comunicación, pasando por su imagen pública, su sentido de desarrollo económico y social, y su responsabilidad en la solución de los problemas contemporáneos más apremiantes, hacen de éstas tareas primordiales para los profesores de química en asocio con las demás agencias encargadas de su promoción.

Desde esta perspectiva, el Seminario Internacional *Química: historia, filosofía y educación* se ha propuesto:

1. Fortalecer la enseñanza de la química mediante la vinculación histórico-epistemológica como medio para incrementar el interés de las nuevas generaciones por esta ciencia.
2. Consolidar la comunidad académica –en el campo de la didáctica de las ciencias– preocupada por los problemas históricos y epistemológicos de la química y su relación con la enseñanza.
3. Socializar las iniciativas, los avances de investigación y las experiencias educativas en lo relacionado con la historia, la filosofía y la enseñanza de la química.

4. Establecer canales y redes de comunicación entre los investigadores y docentes de química para propiciar una difusión fluida de su saber histórico, epistemológico y didáctico.

En particular se han establecido las siguientes áreas de trabajo para el desarrollo académico del Seminario:

- Problemas históricos y epistemológicos de la química.

Discusión y revisión de los problemas históricos y epistemológicos de la química en cuanto a sus fundamentos, prácticas y objetos tecnológicos en los distintos campos y especialidades, así como sus especificidades, la relación con otras disciplinas científicas y no científicas, tanto como las visiones estéticas y los aspectos éticos y ambientales.

En estos temas tendremos la colaboración del profesor Jeffrey I. Seeman, de la Universidad de Richmond, y como experto y comentarista, el profesor José Luis Villaveces, de la Universidad de los Andes. Adicionalmente contaremos con la participación especial del profesor José Ramón Bertomeu, de la Universidad de Valencia.

- Problemas pedagógicos y didácticos de la química

Discusión y revisión de los problemas pedagógicos y didácticos de la química en relación con su historia y desarrollo en los distintos niveles y modalidades de formación científica y tecnológica, así como los surgidos en los espacios escolares, de difusión y promoción de la misma, en la perspectiva de contribuir a la construcción de ciudadanía y desarrollo.

En estos temas tendremos la colaboración del profesor Vicente A. Talanquer, de la Universidad de Arizona, y como experto y comentarista nacional, al profesor Rómulo Gallego Badillo, de la Universidad Pedagógica Nacional.

- La problemática histórico-epistemológica en relación con la didáctica de la química

Socialización y divulgación de experiencias concretas de formación en química que vinculan elementos de la epistemología y la historia de las ciencias en su diseño e implementación, así como los resultados de particulares estrategias de difusión de la química como disciplina científica, conocimiento tecnológico y conservación ambiental.

En estos temas contaremos con la colaboración del profesor José Antonio Chamizo, de la Universidad Nacional Autónoma de México, y como experto y comentarista, con el profesor Álvaro García Martínez. Adicionalmente, con la contribución especial para este evento del profesor William B. Jensen, de la Universidad de Cincinnati.

Se ha querido convocar a la comunidad de especialistas en enseñanza de la química, los profesionales y demás interesados en el conocimiento químico, para que hagan parte de esta iniciativa como una manera de rendir homenaje a todos los hombres y mujeres que han dedicado sus vidas a la construcción de esta disciplina, y muy especialmente a todos aquellos dedicados a la formación de una nueva ciudadanía.

Referencias bibliográficas

Bensaude-Vincent, B. & Simon, J. (2008). *Chemistry: the impure science*. London: Imperial College Press.

Bensaude-Vincent, B. & Stengers, I. (1996). *A history of chemistry*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Gilbert, J. K. & Treagust, D. F. (2009). Multiple representations in chemical education. In: *Models and modeling in science education* (Vol. 4). Dordrecht: Springer Verlag.

Lehn, J. M. (2011). Chemistry: the science and art of matter. *The UNESCO Courier*, (Jan.-Mar.), 7-9.

Martínez, J. C. & Labarca, M. (2011). On the intertheoretical relationships: the electron pair of G. N. Lewis and the VSEPR model. *Proceedings of the Summer Symposium of the International Society for the Philosophy of Chemistry*. Presented at the Summer Symposium of the International Society for the Philosophy of Chemistry. Bogotá D.C.: en prensa.

Talanquer, V. (2009). Química: la condena del pensamiento restringido. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extraordinario. Presented at the VIII Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona.

Lógica, historia y los textos de química: replanteamiento y actualización

William Jensen

Universidad de Cincinnati

Resumen

Este artículo presenta el replanteamiento y actualización de mi evaluación en tres partes, de 1998, sobre la estructura lógica e histórica de la química moderna, a la luz de la experiencia de una década, en el intento por implementar sus conclusiones en el aula.

Palabras clave

Didáctica de la química, historia de la química, textos de química, lógica.

Introducción

En 1998 publiqué un artículo de tres partes en la *Journal of Chemical Education* con el título general de *Lógica, historia y los textos de química*, basado en una serie de conferencias que había impartido en 1995 en la *57a Conference of the New England Association of Chemistry Teachers* (NEACT o Conferencia de la Asociación de Profesores de Química de Nueva Inglaterra). Dichos artículos constituían una síntesis de la búsqueda emprendida en décadas anteriores por lograr presentar a los estudiantes de niveles iniciales las ideas y conceptos fundamentales de la química moderna de una manera más lógica y unificada, y que nació de mi propia frustración en la universidad, cuando percibí la presentación tan dispersa y desarticulada de la química en los cursos de formación profesional, así como de la desilusión de mis propios estudiantes en Cincinnati quienes, además de no poder articular su desagrado casi universal por la química, parecían responder

negativamente a la aleatoriedad de los temas presentados en los textos de química convencionales.

La precisión acerca de la naturaleza y origen de esta frustración se resumió en un seminario sobre didáctica de la química de mi Departamento, que inició al poco tiempo de llegar a Cincinnati:

La introducción a la química es el cesto de basura del currículo. Se compone del cúmulo de residuos de aquellas temáticas que los profesores de cursos más avanzados ya no desean enseñar, y se presenta una larga terminología aleatoria, generada por modelos teóricos altamente aproximados, que los estudiantes no comprenden completamente y que se diseñaron originalmente para la racionalización de un rango limitado de hechos experimentales que ya no se enseña, debido a la desaparición de la química descriptiva (Jensen, 1988).

La clave de mis intentos por la rectificación de esta situación apareció después de mi estudio de la historia de la química, y que, sin saberlo en su momento, hacía eco de un llamado de atención hecho por el químico e historiador de la química Albert Ladenburg, al menos un siglo antes en su reconocida conferencia sobre la historia de la química:

Una retrospectiva, especialmente en las ciencias exactas, permite una comprensión adecuada de lo que es aceptado en la actualidad. Sólo cuando existe una familiarización con las teorías que precedieron a aquellas que se aceptan hoy, es que estas últimas se pueden comprender completamente, debido a que casi siempre hay una íntima conexión entre ambas (Ladenburg, 1900).

En efecto, desde la publicación de las conferencias originales, continué aplicando la afirmación de Ladenburg, aunque en una escala menos ambiciosa, a través de mi columna de preguntas y respuestas sobre historia de la química en la *Journal of Chemical Education*. La elaboración de respuestas a las preguntas formuladas por el profesorado de química de todo el mundo acerca de los orígenes de la nomenclatura, el simbolismo, las definiciones y las técnicas de laboratorio, resultó desafiante y educativa, probablemente más para mí que para mis lectores. Además fue, en ocasiones, desilusionante, especialmente al descubrirse que un concepto o una terminología particular no es la verdad revelada infalible en la que creen los colegas, sino más bien un accidente histórico

o una convención debida, quizás, a una falla en la eliminación de un vocabulario desactualizado (por ejemplo la terminología de la oxidación-reducción) o la elección accidental de un procedimiento experimental particular (por ejemplo la medida electrométrica de concentración de H⁺ y el concepto de pH) o la utilización parroquial de un concepto general como resultado del descuido y la restringida especialización (por ejemplo el concepto de polímero).

Como se muestra en la tabla 1, en la primera parte de la serie de conferencias intenté agrupar los conceptos básicos de la química en nueve categorías, dependiendo de su relación con la dimensión de la composición/estructura, la energía o el tiempo de los fenómenos químicos, como también de su formulación desde el nivel molar, molecular o eléctrico del discurso químico (Jensen, 1988a). En la segunda parte, ilustré el modo en que estas distinciones podrían usarse para clarificar el tratamiento de ciertas temáticas por parte de los textos aceptados (Jensen, 1998b) y, finalmente, en la tercera parte mostré la manera en que esta clasificación reflejaba la evolución histórica de la química misma, especialmente en la correspondencia de los tres niveles del discurso químico con tres diferentes revoluciones químicas: el nivel molar con la revolución clásica de Lavoisier y sus colaboradores en el periodo de 1770 a 1790; el nivel molecular con la revolución unida a la emergencia de los conceptos de la teoría estructural clásica y la teoría cinética de la materia en el periodo de 1855 a 1875; y el nivel eléctrico, con la emergencia de la teoría electrónica del enlace y la reactividad química en el periodo de 1904 a 1924 (Jensen, 1998c).

Tabla 1. The Logical Structure of Chemistry

	Dimensión Composición & Estructura	Dimensión Energía	Dimensión Tiempo
Nivel Molar	1. Composición relativa de sustancias puras: simples y compuestas, soluciones y mezclas. Designación empírica de alomorfos (estado, color, forma cristalina, a, b, etc.).	4. Entropías calorimétricas & calores de formación. Energías libres y constantes de equilibrio.	7. Leyes de <i>velocidad</i> experimentales. Parámetros experimentales de Arrhenius y/o entropías y calores de activación.
Nivel Molecular	2. Fórmulas absolutas y estructurales. Racionalización de alomorfos como variaciones ya sea de composición absoluta (polímeros) o de estructura (isómeros).	5. Interpretación molecular de la entropía. Interpretación de los calores de formación en términos de calores de atomización, de energía promedio de enlace, etc. Mecánica molecular.	8. Mecanismos de reacción molecular. Perspectiva molecular de las entropías de activación y complejos activados.
Nivel Eléctrico	Fórmulas electrónicas (Estructuras de Lewis & configuraciones electrónicas). Variaciones ya sea en la composición electrónica o nuclear (iones & isótopos) o en la estructura (estados excitados).	6. Cálculo de energías basadas en estructuras electrónicas. Interpretación de espectros. Cálculo de calores de atomización, entropías espectroscópicas, etc.	9. Mecanismos de reacción iónico y fotoquímico. Efecto Isotópicos. Cálculo de las energías de activación. Índices de reactividad electrónica.

Tabla 1. Clasificación original de los conceptos químicos básicos en términos de tres dimensiones y tres niveles del discurso químico.

Han transcurrido quince años desde la articulación de estas ideas por primera vez, y al menos una década desde mi implementación de muchas de ellas en el aula. El propósito en este momento es la síntesis de esta experiencia de aula en términos de la modificación y ampliación de algunas de mis ideas originales, y la forma en que estos cambios conducen a mayores preguntas (Jensen, 2000). De forma breve, quisiera tener la oportunidad de replantear y actualizar mi crítica original de la estructura lógica e histórica de la química moderna¹.

Cinco preguntas básicas

Un primer descubrimiento en el aula fue que la utilización explícita de la energía y el tiempo como dimensiones conceptuales o categorías, aunque lógicamente viables, era muy abstracta para los niveles iniciales y se requería una aproximación menos compleja. Esto me llevó, entonces, a que a partir de las tres dimensiones originales elaborara lo que llamo las cinco preguntas básicas de la química. Luego de proporcionar lecturas cortas acerca de la naturaleza, tanto de la ciencia como de la química, y de llegar a una definición provisional de la química como «el estudio de las sustancias, sus propiedades características y sus transformaciones mutuas», concluí que frente a una nueva sustancia o un nuevo material, un químico o química se hace automáticamente cinco preguntas:

1. ¿De qué está hecho?
2. ¿Cómo está organizado?
3. ¿En qué puede cambiar?
4. ¿Qué tan rápido cambia?
5. ¿Qué tan completo es el cambio?

Las respuestas a la primera pregunta se conocen técnicamente como *composición*; a la segunda, como *estructura*; a la tercera, como *estequiometría*; la cuarta es *cinética* y la quinta, *termodinámica*. Casi todos los temas propuestos en un curso introductorio de química, se refieren a alguna de estas cinco cuestiones básicas.

¹ Los temas de las secciones 2 a 5 son síntesis de varias secciones de las notas de mi curso de química general (Jensen, 2000). Copias disponibles por solicitud de los interesados.

Estas preguntas se agrupan más adelante en dos grandes categorías: *caracterización*, que implica el estudio de la composición y la estructura; y *reactividad*, que comprende la estequiometría, la cinética y la termodinámica. Aunque tradicionalmente el término estequiometría se refiere al estudio de la composición con el cálculo de fórmulas empíricas y moleculares de sustancias individuales, he restringido su utilización únicamente a la «estequiometría de reacciones», entendida como la construcción de ecuaciones químicas para las transformaciones observadas, su clasificación apropiada (como adiciones, desplazamientos, descomposiciones, etc.), así como los cálculos usuales de masa, volumen y concentración con base en el balance.

La jerarquía física

De forma similar, otro hallazgo inicial fue que los tres niveles (molar, molecular y eléctrico) necesitaban también una mayor elaboración para acomodarse al conjunto de temas que se encuentran en los textos convencionales. En este caso, introduje el concepto jerarquía física u organizativa, según el cual las entidades en un nivel dado de la jerarquía sirven como los componentes de las entidades de un nivel superior. Así, los nucleones (protones y neutrones) son los componentes de los núcleos atómicos; núcleos y electrones son los componentes de los átomos; los átomos son los componentes de las moléculas²; las moléculas son los componentes de las fases; las fases son los componentes de los materiales; y los materiales son los componentes de los objetos macroscópicos cotidianos.

Desde luego, los niveles mencionados son sólo un pequeño segmento de la jerarquía física completa de la ciencia moderna. Del lado inferior, los nucleones están hechos de quarks, y los quarks se componen de partes aún más pequeñas, etc., mientras que del lado superior, los objetos macroscópicos individuales son los componentes de las economías, los ecosistemas y las geósferas, y estos a su vez son los componentes de los planetas, los planetas son los componentes de los sistemas solares, los sistemas solares son los componentes de las galaxias, etc. Esos niveles, por encima y por debajo de nuestra jerarquía, son objeto de estudio de otras ciencias y, por supuesto, la química se solapa con muchas de

2 Por supuesto, existen ambigüedades en este orden simplificado de la jerarquía física. Como señalé en las conferencias originales (Jensen, 1998b), los átomos como tal no se mantienen realmente como tales dentro de las moléculas, las cuáles, en el nivel electrónico, también se componen de núcleos y electrones. De este modo, mientras es correcto afirmar que las moléculas están compuestas por átomos, no es correcto afirmar que los componentes de las moléculas son los átomos. Asimismo, muchas de las distinciones entre los niveles de moléculas y fases no funcionan para el caso de los sólidos no-moleculares.

ellas a medida que se aproxima a uno de los extremos de la jerarquía, en los cursos tradicionales de química, sobre todo con la física nuclear en el extremo inferior y con la ciencia de los materiales en el extremo superior.

El asunto clave, sin embargo, es que cualquiera de las cinco preguntas básicas puede hacerse con respecto a cualquiera de los niveles de la jerarquía física de los cursos de química, y de este modo aparecen algunos descuidos curiosos, a la vez que algunas maneras novedosas de ver los temas convencionales. Mientras que la realización expresa de las cinco preguntas en el nivel molecular es sencilla y sin excepciones en los textos de química convencionales, cuando se hacen en el nivel nuclear se constata una mayor ambigüedad. Aunque se enseña composición nuclear (contando protones y neutrones), la mayoría de los textos no dicen nada acerca de la estructura nuclear, incluso cuando esta tiene un papel clave en la determinación de la estabilidad del núcleo. Del mismo modo, a pesar de que se enseña la estequiometría nuclear (al escribir y balancear las ecuaciones nucleares), las constantes de descomposición, la vida media radiactiva y se calcula la energía liberada en una reacción nuclear corriente, casi nunca se indica explícitamente que la descomposición y la vida media se relacionan con la cinética de las reacciones nucleares, y que el tema energético tiene que ver con la termodinámica de las reacciones nucleares.

Esta falla, al mantener un paralelismo manifiesto entre las preguntas hechas en el nivel molecular con las del nivel nuclear, demuestra que muchos libros fracasan en señalar las similitudes y las diferencias significativas entre los tratamientos conceptuales de estos dos niveles. Por lo tanto, mientras que algunos elementos se conservan en las reacciones químicas (es decir las moleculares), solo los nucleones y las cargas se conservan en las reacciones nucleares. Igualmente, mientras muchas reacciones químicas son reversibles y se alcanza el equilibrio antes de completarse, las reacciones nucleares son irreversibles, y si se da un tiempo suficiente, se completan. Finalmente, dadas las enormes cantidades de energía liberadas en las reacciones nucleares espontáneas, los efectos de entropía juegan un papel menor, a diferencia de su importancia en las reacciones químicas.

Igualmente, la composición en los niveles nucleares y atómicos se expresa siempre directamente en términos de composición numérica, es decir, indicando el número total de cada partícula presente. En el nivel molecular y de fases, no obstante, no solo usamos la composición numérica, sino también la composición por peso y por volumen, estas últimas más comunes para las fases

que para las moléculas, y casi que exclusivas cuando subimos en la jerarquía de la composición material.

La relación entre la jerarquía física y los niveles molar, molecular y eléctrico que se encuentra en las conferencias originales es de una u otra forma compleja, ya que para un determinado nivel de la jerarquía física pueden realizarse descripciones desde diferentes puntos de vista. Por ejemplo, podemos describir las fases en el nivel molar en términos de la regla de fases y la cristalografía clásica, pero también podemos describirlas en el nivel molecular en términos de la teoría cinética de la materia. Igualmente podemos describir las moléculas desde el nivel molecular usando la teoría cinética de la materia y la teoría estructural clásica, como desde el nivel eléctrico, utilizando la teoría del enlace y la estructura electrónica.

La barrera de la terminología especializada

Uno de los problemas que se perciben inmediatamente en este proceso de integración, en el momento en que se hacen las mismas preguntas en cada uno de los niveles y se tensionan los paralelismos y las diferencias, es la barrera que impone la terminología química convencional. En este punto, una comprensión de la historia de las ciencias juega, una vez más, un papel significativo al mostrar que muchos de estos términos son accidentes históricos, pues se establecieron en un periodo en el que estos paralelismos no se reconocían, o en un momento en que especialistas de otras áreas los introdujeron, y sus énfasis y objetivos eran bastante diferentes de los de la comunidad química.

Tomemos, por ejemplo, el concepto de isomería utilizado para describir especies que tienen diferentes estructuras pero idénticas composiciones. Este concepto se introdujo en el nivel molecular en la década de 1830, pero pocos estudiantes en la actualidad se dan cuenta de que este importante concepto aparece también en otros niveles de la jerarquía estudiada por la química. Es así que en el nivel nuclear este paralelismo se ha reconocido amplia y expresamente, y por lo tanto, núcleos correspondientes con organizaciones estructurales alternativas del mismo número de protones y neutrones se denominan explícitamente isómeros nucleares. Pero en el nivel atómico las organizaciones alternativas de un idéntico número de electrones para un determinado átomo se conoce como estado excitado en vez de isómero atómico o electrónico, y en el nivel de las fases las organizaciones alternativas de las moléculas constituyentes en un sólido cristalino o cristal líquido se refieren como polimorfos y no como isómeros de fase.

Análogamente, en el nivel de las fases, los cristales que tienen estructuras idénticas pero composiciones diferentes se denominan isomorfos desde 1820, pero el paralelo de este término no se acepta generalmente para denotar moléculas que tienen estructuras idénticas pero composiciones diferentes, mientras que en el nivel atómico los átomos y los iones que tienen distinto núcleo pero estructuras electrónicas idénticas se denominan isoelectrónicos. Aunque seguramente existe una variación similar en el nivel nuclear, nunca he podido ubicar un ejemplo claro, pero sospecho que bien podrían ser candidatos los denominados núcleos especulares (número invertido entre protones y neutrones). Cuán simple e ilustrativo es el uso de los términos isomorfo de fase, isomorfo molecular, isomorfo electrónico e isomorfo nuclear (una vez que se reconocen explícitamente estos paralelismos) frente a la mescolanza de los términos tradicionales.

Desafortunadamente el reemplazo de los términos tradicionales por nuevos términos acuñados no son bien visto en ciencias; tales revisiones, cuando ocurren, deben venir de arriba (por ejemplo de la literatura de investigación de alto estatus), pero nunca desde abajo (como la literatura de bajo estatus de la investigación educativa) y como resultado, los estudiantes que se inician en química se privan de puntos de vista invaluable y de la oportunidad de formar una visión potencialmente más unificada del objeto de estudio de la química y la física. A este respecto, siempre me comprometo a mencionar los términos nuevos y los tradicionales al mismo tiempo.

El postulado fundamental de la química

Adicional a la tabla 1, más adelante, en la primera parte de las conferencias originales, introduje lo que denominé como el postulado fundamental de la química -proposición según la cual las propiedades o características molares específicas de las sustancias (p) son una función de su composición (c), su estructura (e) y la temperatura (T)– y que se generaliza como:

$$\pi = f(c, e, T, \alpha) \quad (1)$$

donde α subsume cualquier factor ambiental relevante, además de la temperatura como el efecto del solvente, el potencial eléctrico en sistemas electroquímicos, la intensidad de la luz en sistemas fotoquímicos, etc., así como c y e se refieren a la composición y la estructura respectivamente en cualquiera de los niveles relevantes de la jerarquía física. La importancia de este postulado radica en que, no solo justifica para el estudiantado las razones por las cuales

la comunidad química y sus propios textos dedican tanto tiempo y esfuerzo al estudio de la composición y la estructura, sino que además resume la definición de la química dada en las conferencias introductorias.

Un balón que se arroja al aire obedece las leyes del movimiento de Newton, sin importar si es azul, rojo o blanco, si es quebradizo o elástico, si opaco o transparente, o si es conductor o aislante eléctrico. Estas variaciones individuales son irrelevantes para el físico que estudia las leyes universales de la materia. No obstante, son los intereses cardinales de la química, pues se busca entender de manera amplia los orígenes de diferentes variedades de materia -conocidas igualmente como sustancias- y así comprender por qué un material es colorido y otro no, por qué un material es transparente y otro opaco, por qué un material es buen conductor eléctrico y otro aislante, por qué uno huele a menta y otro a podrido, o por qué un material es tóxico si se ingiere y otro es nutritivo, etc. Responder tales preguntas es el propósito primordial del postulado en la ecuación 1 y es la razón principal del por qué los químicos se obsesionan con el estudio de la composición y la estructura; es decir que su esperanza estriba en que si se implementa completamente este postulado, se podrán algún día predecir y predeterminar las propiedades de una sustancia para una función específica en el laboratorio.

Desafortunadamente, mientras los textos convencionales de química dedican gran espacio a la discusión de los parámetros de la parte derecha de la ecuación 1, casi no dicen nada de los parámetros de la parte izquierda, o sea que no se discurre sobre la definición y medición de las propiedades características que se utilizan para identificar y distinguir entre diferentes materiales en el nivel molar, cuestión inadvertida que supuso una serie de conferencias en mi curso, concernientes con la definición y medición de algunas propiedades eléctricas, mecánicas, ópticas y fisiológicas simples y representativas como preludeo a la discusión respecto a la manera en que estas propiedades se correlacionan con la composición y estructura en el nivel material, de fases, molecular y atómico.

En la consulta de varios textos de ciencia de los materiales, óptica, fisiología, farmacología y toxicología, descubrí rápidamente que la definición y medición de propiedades simples en diversas áreas podrían ajustarse a una gráfica de perturbación-respuesta (figura 1) en la que varias muestras (incluyendo organismos vivos para determinadas pruebas) son puestos bajo ciertas perturbaciones de intensidad creciente -como la aplicación de voltaje, tensión mecánica, aumento de la intensidad lumínica, aumento de la concentración o dosis de un

fármaco o veneno, etc.- y la magnitud de las respuestas se mide en términos de una segunda propiedad, como incremento de flujo de corriente, incremento de la tensión mecánica, incremento de la transmitancia, resistencia acústica, tasa de recuperación o muerte, etc. Varias regiones de estas características en este tipo de gráficas, muy particularmente la pendiente de la región lineal de respuesta inicial, se usa para definir una propiedad molar específica de interés (por ejemplo conductividad eléctrica específica, transmitancia, elasticidad mecánica, sensibilidad fisiológica o farmacológica, etc.), la cual luego se correlaciona con variaciones en la composición y estructura de las muestras en cuestión.

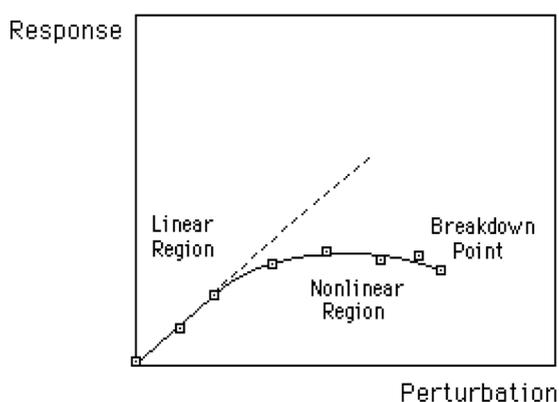


Fig. 1. Una gráfica de la generalización perturbación-respuesta y sus regiones y diferentes características. En general, la región no lineal puede ser una curva, no sólo en sentido negativo, como se muestra aquí, sino también en sentido positivo.

Así como en el caso de la terminología de la sección anterior, este proceso de integración se ignoró en el pasado por convenciones y opciones históricas arbitrarias, válidas solo para ciertas áreas especializadas -fundamentalmente en el caso de las propiedades mecánicas- en las que se invierten los tradicionales ejes de perturbación y respuesta, y se obtiene como resultado una gráfica que se interpreta en términos de rigidez más que de elasticidad material.

A pesar de la importancia central de la ecuación 1 para una visión completa y comprensiva de la naturaleza de la química y sus presupuestos, solo en monografías de química especializada y avanzada se aborda el problema de las llamadas correlaciones estructura-propiedad, y esto es así casi siempre -si no siempre- para el caso de los gases, pues para los líquidos los efectos de la estructura material y de la fase se eliminan mediante aleatorización, permitiendo así saltar de la propiedad molar a la composición y estructura en el nivel mole-

cular. Sin embargo en el caso de los sólidos que se estudian en la ciencia de los materiales esta situación ya no se presenta, y tanto la estructura material como de fase tienen un impacto significativo en las propiedades molares resultantes, una complicación que pocos aprecian en química.

¿Dónde queda la historia de la química?

Pero, en todo esto ¿dónde queda la historia de la química? Como ya he dicho en la introducción, a lo que realmente me refiero, tanto en mis conferencias originales como en esta actualización, es al resultado de la utilización de la historia de la química para analizar críticamente la estructura de la química moderna y llegar, así, a una presentación de sus conceptos básicos con mayor unidad y coherencia lógica, más que a la discusión sobre si los cursos modernos deben incluir grandes dosis de historia de la química *per se*. La razón de esto no es que objete el uso explícito de la historia como una parte integral de los cursos introductorios de química -de hecho he demostrado cómo puede hacerse en la tercera parte de las conferencias originales- sino más bien porque una integración manifiesta es imposible en la realidad actual (y en la futura) de la enseñanza de la química introductoria en las universidades en los Estados Unidos.

Hace un tiempo este no era el caso. En la década de 1960 se consolidó un fuerte movimiento para integrar la historia de las ciencias con la enseñanza en los cursos introductorios diseñados para no profesionales de las ciencias, tanto en la escuela secundaria como en la universidad, y se enfatizaba tanto en el contexto cultural de la ciencia como en la naturaleza del método científico. Pero para el tiempo en que inicié mi carrera docente -en la década de 1980- este ya no era el caso. Las universidades estadounidenses atrajeron cada vez menos a estudiantes interesados en las humanidades y las artes, pero cada vez más a interesados únicamente en obtener un título de grado útil de forma rápida en áreas profesionales como las ciencias de la salud, las ingenierías, la administración, los sistemas y la computación. Aunque las universidades continuaban manteniendo la pretensión de que estos estudiantes tomaran un cierto número de cursos generales con base en artes y ciencias antes de su especialización, estos requisitos resultaban en una broma, ya que los contenidos de estos cursos, al menos en el caso de la introducción a la química, se acomodaban a las solicitudes de las escuelas de enfermería e ingeniería más que a las escuelas de artes y ciencias y los mismos departamentos de química.

Como resultado, los cursos introductorios de química se pusieron «al servicio» de otros cursos especializados más que a la formación científica general. Su propósito ya no era la educación de los estudiantes universitarios mediante la oferta de una panorámica inicial no especializada sobre la naturaleza e importancia de la ciencia en cuestión, sino más bien la de un entrenamiento técnico para ciertas profesiones. Como tales, estos cursos se utilizaron además por las escuelas profesionales como prerrequisitos de formación. Debido a que únicamente se les permitía continuar en el programa profesional a los estudiantes con calificaciones de B o superiores en química, además de que solo el 25% del estudiantado por definición entraban en este rango, los cursos de química se popularizaron por el alto número de estudiantes molestos y frustrados que veían esta ciencia como poco más que un impedimento entre ellos y sus carreras. Cualquier intento por inyectar largas dosis de historia de la química en esta infortunada situación habría provocado la oposición radical de las escuelas profesionales, las cuales hubieran objetado que sus estudiantes no estarían apropiadamente «formados» y «seleccionados».

De cualquier manera esta situación se ha vuelto peor en años recientes. Casi una década de tensión financiera y la creciente adopción del modelo corporativo de negocio por parte de las universidades estadounidenses, han llevado a una demanda por la estandarización y transferencia de créditos intercambiables en los cursos introductorios a través del seguimiento de un libro de texto normalizado y la presentación de exámenes estándar. En la mayoría de universidades, la selección de los contenidos de los cursos introductorios de química está a cargo de los departamentos de mercadeo de las editoriales, y se fuerza a los profesores para que enseñen con base en el texto para responder el examen. Adicionalmente, el hecho de que los cursos tengan que ser financieramente autosostenibles, ha derivado actualmente en una cada vez mayor relación de estudiantes por profesor y en la necesidad de que estos cursos se enseñen en grandes auditorios donde no se cuenta con las instalaciones adecuadas para las demostraciones química, y que incluso no se encuentran ubicados en los departamentos de química.

En esencia lo que muestran estas tendencias es que los departamentos de química pierden rápidamente el control sobre sus cursos introductorios. Aún peor, presagia la muerte de cualquier forma de innovación conceptual creativa, ya sea la introducción a temáticas históricas, nuevas aproximaciones a los conceptos o la reorganización del currículo existente. Estas actividades deben ser la vida de una buena universidad, y su pérdida es un mal augurio para la química

estadounidense, no solo porque elimina cualquier pensamiento crítico, sino además porque llevará a muchos individuos creativos a decidirse en contra de carreras académicas en didáctica de la química. Lo que hemos perdido -no diré lo que estamos en peligro de perder, pues creo que es claramente un hecho- ha sido recientemente sintetizado de manera elegante por parte de Henry Bent:

Una educación liberal, es decir, una que permanece después de todo lo que se ha aprendido -acerca de moléculas y enlaces químicos- ha sido olvidada. A la manera del Gato de Cheshire de Lewis Carroll, lo que permanece es la «mueca», la habilidad, tal vez, de pensar creativamente, de inventar inducciones realmente disparatadas a partir de la evidencia, en cualquier camino de la vida. Las ciencias inductivas, enseñadas desde el punto de vista histórico, son «cursos al servicio» para ciudadanos que viven en sociedades basadas en la invención y la creatividad (Bent, 2011).

Dada esta realidad, es comprensible el por qué no tengo la autoridad para enseñar cómo introducir directamente la historia de la química en el currículo introductorio de química. Desde luego, es casi un milagro que haya tenido tanta libertad académica como para haber podido jugar con el contenido conceptual de mi curso introductorio de química. ¡Ay, libertad que hoy no es más que un cariñoso recuerdo!

Referencias bibliográficas

Bent, H. A. (2011). Private correspondence of 8th March.

Jensen, W. B. (1987). Does ontogeny recapitulate phylogeny in chemical education? Some depressing thoughts on chemical education and the history of chemistry. Departmental Seminar, University of Cincinnati, 05 February.

_____ (1998a). Logic, history, and the chemistry textbook: I. Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75, 679-687.

_____ (1998b). Logic, history, and the chemistry textbook: II. Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75, 817-828.

_____ (1998c). Logic, history, and the chemistry textbook: III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75, 661-969.

_____ (2000). Chemistry: The science of substance, Department of Chemistry, Cincinnati: University of Cincinnati.

Ladenburg, A. (1900). Lectures on the history of the development of chemistry since the time of Lavoisier (p.p. 2-3). Edinburgh: Alembic Club.

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 maravillarse 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 migmoideos», 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 argentoide» 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.

Responsible conduct of research in academic chemistry in the United States

Jeffrey Seeman

Universidad de Richmond

Mark House

Giant Steps Research

Abstract

A survey on credit issues was conducted of academic chemists in Ph.D. granting institutions in the United States. Six hundred faculty members responded. The questions dealt with the following subjects: experiences with regard to receiving credit, experiences in giving credit to co-workers, educational experiences and criteria used for designating credit in publications. Key results will be discussed and recommendation made regarding RCR within the academic chemistry community in the United States.

Keywords

Responsible conduct of research, RCR, authorship, credit, honorary authorship.

Introduction

“Responsible conduct of research (RCR) is simply good citizenship applied to professional life” (Steneck, 2007). The most dramatic areas of RCR and those that get the most attention deal with research misconduct which generally involves fabrication, falsification or plagiarism (see chapter 2 in: Steneck, 2007) (Department of Health and Human Services, 2005; see Chapter 1 in: Macrina, 2000). However, everything done in the practice of research is included in RCR. Subjects as data management (Fienberg *et al.*, 1985), mentor responsibilities (Whitesides

and Deutch, 2011), teamwork (Rouhi, 2011), authorship and publication (House and Seeman, 2010; 2010a; b), peer review (CSE Board of Directors, 2002; Daniel, 1993), managing conflicting interests (Krimsky and Rothenbert, 2001; Tereskerz *et al.*, 2009) and the use of humans and animals in research (see Chapters 5 and 6 in: Macrina, 2000), all fit within the boundaries of RCR and demonstrate the wide range of important and specialized topics covered in RCR.

RCR issues arise in every discipline where there is research. Chemistry embodies an environment that is rich in research. It is thus no surprise that there would be some record of RCR issues within this discipline. For example, in the past few years, there have been a number of highly reported issues, such as claims of plagiarism involving a Nobel prize (Corey, 2004a; b), fabrication and falsification (Everts, 2009; Rovner, 2008), treatment of graduate students (Schneider, 1998; Whitesides and Deutch, 2011), failure to give proper credit (Schulz, 2007) and overstatement of experimental results (Hudlicky, 2005; Wernerova and Hudlicky, 2010).

According to the Final Rule of the U. S. Department of Health and Human Services (HHS) in its *Public Health service Policies on Research Misconduct*, “A finding of research misconduct [...] requires that there be a significant departure from accepted practices of the relevant research community (Department of Health and Human Services, 2005).

This definition by HHS provides a critical challenge. For judging claims of research misconduct, the understanding of the sociology of the relevant community, for the development of RCR standards, for the improvement of RCR education and for the improvement of the research environment, one must ask: What are the «accepted practices of the relevant research community»? A first step is determining the actual practices of the research community and the basis on which academics choose their behavior. Furthermore, as part of a research project undertaken by one of the two authors of this manuscript (JIS) dealing with plagiarism (for a preliminary report on this research, see: Seeman, 2010), it was deemed of value to determine what the experiences have been for academic chemists in Ph.D. granting institutions in the United States.

There is one area of RCR, namely authorship, which involves everyone who participates in a research project. Indeed, authorship sometimes involves individuals who have not participated in the research; this is called «honorary authorship» (Flanagin *et al.*, 1998). Authorship decisions are serious, given the personal commitments made to perform research, the sense of fairness demanded by

most people in their professional lives, and today's highly competitive science environment. Omitting those who meet the criteria for authorship («ghost authorship») (Flanagin *et al.*, 1998; Johnson, 2005) may even be plagiarism.

Because of the pervasive and serious consequences of authorship issues, we decided to obtain and evaluate data on this area of RCR. We performed a survey of ca. 4000 academic chemists in Ph.D. granting institutions in the U.S. Six hundred complete responses were obtained. In this paper, we shall present the highlights of this survey in three important facts of authorship: receiving credit, giving credit, and the sources on which individuals base their decisions and their behavioral responses in these three areas. More details can be found in our initial publications of this research (House and Seeman, 2010; 2010a; b).

Results and discussion

The survey

A thorough description of the survey and characterization of the response profile can be found in our previous paper (Seeman and House, 2010b). The University of Richmond Institutional Review Board (IRB) reviewed a preliminary version of the survey, appropriate modifications were made, and IRB approval was received. In some instances, respondents provided identifying information within a textual response. In accord with the University of Richmond IRB guidelines and our study design, all identifying information was permanently deleted from the database such that neither the identify of any respondent nor the respondent's university location could be determined. The response rate was far more than sufficient to guarantee statistical significance; for more details including a discussion on non-response bias, see House and Seeman (2010).

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

As shown in Table 1, 50% of the respondents felt that, sometime in their research career, they did not receive the credit they felt they deserved for contributions they made to a research project. Of those individuals, 35% reported that the offending individual was their own professor or another teacher; and nearly identical percentages were reported for professional colleagues in their own or other academic institutions. These results do not necessarily mean that the respondents did not get the credit they should have received based on some code of conduct (see, for example: American Chemical Society, 2006), but rather whether they failed to get the credit they felt they deserved.

Table 1. Data describing the extent to which the 600 respondents reported that they did not receive credit they felt they deserved for contributions they made to a research project. Data from (Seeman and House, 2010b).

	Yes n (%)	No n (%)
Did you ever feel that you ought to have been either a co-author of a paper or acknowledged in a paper and were not given that recognition?	300 (50%)	300 (50%)
Who was it that failed to adequately acknowledge one of your suggestions which was essential for the successful completion of his/her project?		About how many times did this occur? n (%)
Your professor or another teacher?	105 (35%)	n = 1, 26 (25%) n = 2, 35 (33%) n ≥ 3, 44 (42%)
A colleague in your own institution?	122 (41%)	n = 1, 32 (26%) n = 2, 39 (32%) n ≥ 3, 51 (41%)
A colleague in another institution?	125 (42%)	n = 1, 41 (33%) n = 2, 43 (34%) n ≥ 3, 41 (33%)

Table 1. illustrates the percentage of peer groups, divided into decade of receipt of their Ph.D. degree, who responded that it was their professor or teacher who failed to give them the credit they felt they deserved. The largest percentage –over 60% of those who received their Ph.D. in the 2000s– reported affirmatively. This data cannot, by itself, distinguish between a number of alternatives: some possible explanations include an increased failure on the part of faculty to appropriately award credit; increased sensitivity by the youngest generation of faculty toward receipt of credit; a widening difference in perspectives as to what constitutes authorship; and/or a mellowing out or decreased memory by the older cohort.

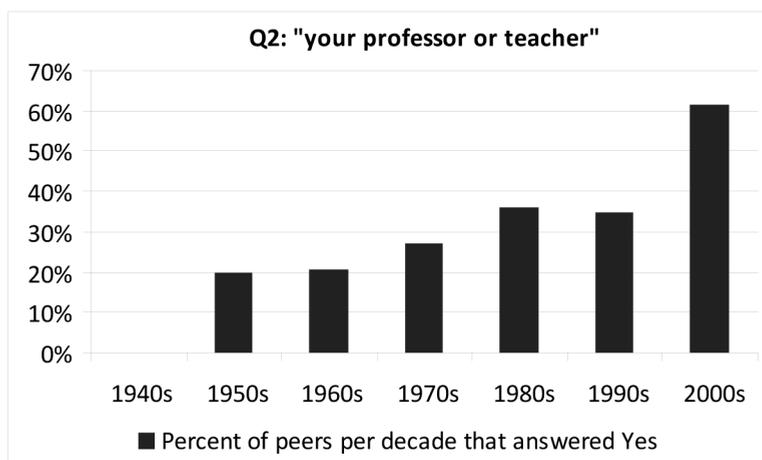


Figure 1. Percent of respondents by the decade they received their Ph.D. degree who answered Yes to the question, «Did your professor or teacher fail to adequately acknowledge one of your suggestions, which was essential for the successful completion of his/her project?» (Seeman and House, 2010b).

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

The counter to receiving or not receiving credit, is giving or not giving credit. We were interested in examining the possible role of «context» with regard to giving credit. That is, would the respondents provide different credit depending on who «Person A» was or the context in which Person A provided a critical suggestion to a principal investigator. The question posed and a summary of the results are shown in Table 2. Each row in Table 2 represents a different scenario for which the respondents provided the credit they would give to the idea contributor. A number of observations can be directly seen from Table 2. Co-authorship was provided maximally to the respondents' own students (first data row); apparently, there is a bias to giving credit to own's own students. «Do nothing», that is, given no credit, was most frequently reported for suggestions made at department seminars; apparently, there is a sense by some faculty that information exchange at a seminar is freely given «without authorship strings».

Person A	Setting	Responses		
		Do Nothing	Provide an acknowledgment	Provide Co-authorship
		Number of responses ^a (% of 600 respondents)		
Your graduate student or postdoctoral student who was not working on the project	At your research group meeting	48 (8.5%)	393 (69%)	126 (22%)
A student in your department	At a department seminar	101 (18%)	410 (72%)	56 (10%)
A colleague in your department	In an informal discussion (e.g., the hall or an office)	46 (8.1%)	446 (79%)	75 (13%)
	At a department seminar	86 (15%)	422 (74%)	59 (10%)
A colleague from outside your department	In his/her office or your office	36 (6.3%)	460 (81%)	71 (13%)
	At a seminar	89 (16%)	423 (75%)	55 (10%)
	Letter or email sent to you	15 (2.6%)	462 (81%)	90 (16%)

Table 2. Responses to the question: «A suggestion was made by Person A that permitted the successful completion of your research project which otherwise would not have been achieved. Person A did not work on the project beyond that suggestion. What credit would you give to that person in your publication?» (Seeman and House, 2010a).

The context dependency of giving, or not giving, credit can be more clearly seen by examining some of the data in more detail. Consider the first data row in Table 2, now shown in Table 3. This represents the respondents' decision as to what credit they would give to their own student. One hundred and twenty six would give their own student authorship on the published paper. As shown in Table 3, of those 126 respondents, only 55 of them (44%) would give another faculty's student who provided the exact same idea authorship. The majority would give another faculty's student an acknowledgment when they would give their own

student authorship (first data row of Table 3). Further examination of Table 3 reveals other context dependencies. For additional insights, see the original publication (Seeman and House, 2010a).

First (or control) scenario		Second scenario		
If Person A were your own student at your research group meeting, you would grant		If Person A were a student in your department at a department seminar, you would grant		
		Response [Within each row, n (%)]		
Response	Respondents (n)	Co-authorship	Acknowledgment	Nothing
Co-authorship	126	55 (44%)	64 (51%)	7 (5.6%)
Acknowledgment	393	1 (0.3%)	335 (85%)	57 (15%)
Nothing	48	0 (0%)	11 (23%)	37 (77%)
Total	567	56	410	101

Table 3. Demonstration of context-dependent assignment of authorship credit. This table is read in the following fashion: Consider the first row of this table. Of the 600 respondents to the survey, 126 said they would, under the first stipulated situation, grant their own graduate student co-authorship (the first or control scenario). Those 126 respondents were then asked what they would do under a second scenario, when Person A was a student in their department other than their own graduate student (the second scenario). Of those 126 respondents, 55 would grant someone else's student co-authorship, 64 would grant someone else's student an acknowledgment, and seven would provide no recognition to someone else's student. Data from (Seeman and House, 2010a).

Further analysis of the survey data revealed a number of important observations regarding giving credit (Seeman and House, 2010a). For example, faculty who received their Ph.D. degree in the 1940s-1960s period were the most likely respondents who gave or reported that they would give co-authorship in the scenarios listed in Table 2. The vast majority of the faculty who received their Ph.D. in the 1980s reported they would give only an acknowledgment. In contrast, faculties who would give nothing or some acknowledgments are those who received their Ph.D. degree in the 1990s and 2000s. These results can be explained in terms of established versus non-established careers and the current highly-competitive environment in academic science.

Educational influences on giving authorship credit (House and Seeman, 2010)

The 600 respondents were asked to rank the importance of 15 possible criteria for authorship. Table 4 lists these criteria along with the mean values and standard deviation obtained from the respondents. Also listed are the statistically significant groupings of these criteria. The criterion the respondents ranked highest were those intellectual tasks which they –all academic chemists– perform, such as the conception, design and supervision of the research projects with rankings of 4.4-4.6 out of a high of 5. Ranked the lowest with a mean value of 1.09 was being in an administrative position. This is interesting because in other disciplines such as medicine, honorary authorship is, or was, very prevalent (Flanagan *et al.*, 1998). One intellectual contribution «Made a single suggestion that was essential to the successful completion of the project», ranked third from the bottom in importance with a mean value of 2.56. To get a mean value of 2.56 ± 1.211 indicates a rather uniform low ranking by the respondents. It is notable that this authorship criterion was ranked so low given that, according to its wording, the project would not have been successfully concluded without this one suggestion.

We also examined what the respondents report as their underpinnings in their RCR decisions involving authorship. While the criteria they use are remarkably similar to various published authorship criteria (American Chemical Society, 2006; Bates *et al.*, 2004; Claxton, 2005; Committee on Publication Ethics [COPE], 2008; International Committee of Medical Journal Editors, 2010), the respondents do not directly rely on published guidelines. The highest ranked influence was «It just seems to be the right thing», i.e., the respondents do what seems right to them. However, it is possible if not likely that the respondents do learn about RCR norms from professional society codes or RCR classes and, subsequently and subconsciously, use those learnings without realizing and reporting such in their survey responses.

Authorship criteria	Mean	Std. Deviation	Statistically significant groupings*
Made substantial contributions to the analysis and interpretation of data	4.55	0.715	a
Made substantial contributions to the conception and design of the study	4.52	0.703	a
Made substantive intellectual contributions to the study	4.50	0.753	a
Drafted all or a major part of the article or revised it critically for important intellectual content	4.44	0.899	a
Made substantial contributions to acquisition of data	4.28	0.923	b
Shared responsibility and accountability for the results.	4.19	1.081	b
Took public responsibility for portions of the content.	3.75	1.287	c
Provided general supervision of the research group	3.57	1.209	d
Acquired funding.	3.50	1.329	d
Provided materials used in the study, for example, synthetic intermediates or biological preparations, but not books or glassware	3.11	1.129	e
Gave final approval of the version to be published	2.79	1.395	f
Took responsibility for designating as co-authors all persons appropriate and none inappropriate.	2.66	1.427	g

Continua...

Made a single suggestion that was essential to the successful completion of the project	2.56	1.211	g
Performed the literature searches	2.09	1.021	h
Was head of the Department or held another key administrative position.	1.09	0.377	i

Table 4. Mean value scores and statistical data for responses to the question, «How important do you consider each type of contribution for a person to be a co-author of a publication?» The individual scores ranged from 5 (highest importance) to 1 (low importance). (House and Seeman, 2010).

*This letters (a – i) in this column indicate which mean values are statistically different from those reported in the other rows (paired t-test, $\alpha = 0.05$).

Conclusions

Many publications in the field of responsible conduct of research are often opinion-pieces without substantive data. The authors of those papers are generally quite knowledgeable about the subject. Nonetheless, we believe that robust, statistically significant data is required to truly understand the experiences and norms of the individual scientific communities and to, then, optimally develop codes of conduct and recommended or regulatory standards.

This paper summarizes our initial research (House and Seeman, 2010; 2010a; b) aimed at obtaining and analyzing highly relevant data for academic chemists in Ph.D. granting institutions in the United States. Six hundred respondents to our first survey provided information dealing with their giving or not giving credit to others; with receiving or not receiving credit; and the criteria used and the influences on the respondents in their development of those criteria.

A large percentage (50%) of the respondents reported instances in which they have not gotten the credit they feel they deserved, including lack of credit from their own professors and teachers. They also reported a significant context dependency in their own decisions regarding giving credit. Furthermore, they reported not relying upon published standards in RCR but rather doing what «seems to be the right thing». Such arbitrariness is therefore consistent with differences in opinion regarding authorship decisions and may be responsible for the differences of opinion revealed and whatever conflict arises. We con-

clude the necessity for (1) additional research involving data collection in RCR; (2) increased publication of research in RCR and improved awareness of these issues within the various scientific communities; and (3) enhanced appropriate, responsive education in RCR tailored to the specific scientific communities. We believe that these actions will enhance the research environment if not increase scientific productivity.

Acknowledgments

We especially thank the respondents to the survey for their indispensable participation. We also thank Dr. R. Kirk Jonas, Chair of the University of Richmond Institutional Review Board, for his continuing prompt and thorough assistance.

References

American Chemical Society (2006). Ethical guidelines to publication of chemical research. Available in: <http://pubs.acs.org/userimages/ContentEditor/1218054468605/ethics.pdf>, Accessed: July 1, 2011.

Bates, T., Anie, A., Marusic, M. and Marusic, A. (2004). Authorship criteria and disclosure. Comparison of 3 general medical journals with different author contribution forms. *J. Am. Med. Assoc.* 292, p.p. 86-88.

Claxton, L. D. (2005). Scientific authorship. Part 2. History, recurring issues, practices, and guidelines. *Mutation Res.* 589, p.p. 31-45.

Committee on Publication Ethics (COPE) (2008). Cope best practices guidelines for journal editors. Available in: http://publicationethics.org/files/u2/Best_Practice.pdf, Accessed: July 1, 2011.

Corey, E. J. (2004a). Impossible dreams. *J. Org. Chem.* 69, p.p. 2917-2919.

_____ (2004b). Priestley Medal address: Impossible dreams. *Chem. Eng. News* 82 (March 29) p.p. 42-44.

CSE Board of Directors (2002). CSE editorial policy statements: responsibilities and rights of peer reviewers. *Science Editor* 25, p.p. 187.

Daniel, H. D. (1993). Guardians of science. Fairness and reliability of peer review. Weinheim: VCH Publishers.

Department of Health and Human Services (2005). Public Health Service policies on research misconduct, 42 CFR Parts 50 and 93, RIN 0940-AA04, Final Rule. Federal Register 70 (94), p.p. 28370-28400.

Everts, S. (2009). Data manipulation at ETH. *Chem. Eng. News* 87 (September 28), p. 11.

Fienberg, S. E., Martin, M. E. and Straf, M. L. (1985). *Sharing research data*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Flanagin, A., Carey, L. A., Fontanarosa, P. B., Philips, S. G., Pace, B. P., Lundberg, G. D. and Rennie, D. (1998). Prevalence of articles with honorary authors and ghost authors in peer-reviewed medical journals. *J. Am. Med. Assoc.* 280, p.p. 222-224.

House, M. C., Seeman, J. I. (2010). Credit and authorship practices. Educational and environmental influences. *Account. Res.* 17, p.p. 223-256.

Hudlicky, T. (2005). What a novel idea. *Chem. Eng. News* 83 (April 4), p.p. 6-11.

International Committee of Medical Journal Editors (2010). Statement on authorship. Available in: http://www.icmje.org/ethical_1author.html, Accessed: July 1, 2011.

Johnson, C. (2005). Questioning the importance of authorship. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 28, p.p. 149-150.

Krimsky, S. and Rothenbert, L. S. (2001). Conflict of interest policies in science and medical journals: editorial practices and author disclosures. *Sci. Engineering Ethics* 7, p.p. 205-218.

Macrina, F. L. (2000). *Scientific integrity*. Washington, D.C.: ASM Press.

Rouhi, M. (2011). Values worth defending. *Chem. Eng. News* 89 (May 23), p. 3.

Rovner, S. L. (2008). Fraud busters. *Chem. Eng. News* 86 (June 16), p.p. 50-55.

Schneider, A. (1998). Harvard faces the aftermath of a graduate student's suicide. *The Chronicle of Higher Education* 45, p.p. A12-A14.

Schulz, W. G. (2007). Giving proper credit. *Chem. Eng. News* 85 (March 12), p.p. 35-38.

Seeman, J. I. (2010). Was plagiarism involved in the development of the Woodward-Hoffmann rules? 240th ACS National Meeting, Boston, MA, ORGN-438.

Seeman, J. I., House, M. C. (2010a). Influences on authorship issues. An evaluation of giving credit. *Account. Res.* 17, p.p. 146-169.

_____ (2010b). Influences on authorship issues. An evaluation of receiving, not receiving, and rejecting credit. *Account. Res.* 17, p.p. 176-197.

Steneck, N. H. (2007). *Introduction to the responsible conduct of research*. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services.

Tereskerz, P. M., Hamric, A. B., Guterbock, T. M. and Moreno, J. D. (2009). Prevalence of industry support and its relationship to research integrity. *Account. Res.* 16, p.p. 78-105.

Wernerova, M. and Hudlicky, T. (2010). On the practical limits of determining isolated product yields and ratios of stereoisomers: reflections, analysis, and redemption. *Synlett* No. 18, p.p. 2701-2707.

Whitesides, G., Deutch, J. (2011). Let's get practical. *Nature* 469, p.p. 21-22.

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

José Vicente Talanquer
Universidad de Arizona

Resumen

En este trabajo se presentan ejemplos de cómo los análisis históricos y filosóficos del conocimiento y de las formas de hacer y pensar en química podrían contribuir a mejorar su enseñanza y aprendizaje. En particular, este tipo de investigaciones nos ayudarían a definir las preguntas esenciales, que resulta relevante responder, así como estrategias de enseñanza que reflejen de manera más auténtica la naturaleza del pensamiento y trabajo en química. También resultarían de utilidad para comprender y predecir importantes dificultades conceptuales asociadas con el aprendizaje de esta disciplina.

Palabras clave

Historia de la química, filosofía de la química, enseñanza de la química.

Introducción

A través de la historia, las diversas sociedades humanas han buscado transformar el mundo que las rodea con el fin de adquirir más o nuevos recursos y así mejorar el nivel de vida de sus miembros. Las prácticas y conocimientos asociados con la disciplina que hoy llamamos *Química* han jugado un papel central en tal empresa (Bensaude-Vincent & Simon, 2008; Knight, 1992). El quehacer y formas de pensar de los practicantes de química, científicos, ingenieros, farmacéuticos y otros profesionales, han puesto en nuestras manos herramientas poderosas para analizar la composición de cada sustancia con la que entramos en contacto y para sintetizar nuevos materiales con propiedades extraordinarias. Este co-

nocimiento nos ha dado la capacidad de transformar no sólo nuestro entorno, sino también nuestro cuerpo y nuestra mente. Nos ha hecho, literalmente, creadores de paraísos e infiernos en la Tierra.

El gran poder transformador del conocimiento, las formas de hacer y pensar, así como de los productos tangibles de la química, hacen imperativo que los ciudadanos de este planeta adquieran los conocimientos químicos mínimos que les permitan tomar –o ayudar a tomar– decisiones responsables sobre cómo utilizarlos. Nuestra supervivencia depende del éxito que tengamos en educar a las nuevas generaciones para que puedan analizar de forma crítica los costos y beneficios de los productos de la ciencia y la tecnología; para que puedan decidir de manera responsable qué fuentes de energía utilizar, qué alimentos consumir o qué tipos de desarrollo científico y tecnológico apoyar o promover.

Dado este reto, las preguntas centrales que las personas interesadas en educación química tenemos que responder son bien conocidas: ¿Qué debemos enseñar? ¿Cómo debemos hacerlo para promover aprendizajes duraderos y significativos? La tesis central del presente escrito es que las respuestas a estas preguntas deben surgir de un análisis cuidadoso de la naturaleza de la química, sus prácticas y formas de pensar, su historia y filosofía, así como de la investigación educativa sobre las dificultades que enfrentan las personas para comprender ideas y conceptos centrales en esta disciplina. Esta reflexión es necesaria para diseñar currículos escolares, estrategias de enseñanza y actividades de difusión científica que ayuden a las personas a adquirir una cultura química más auténtica y productiva.

Los problemas de la enseñanza

A través de su historia, la enseñanza de la química en los niveles introductorios se ha preocupado por comunicar los conocimientos disciplinarios que los químicos han acumulado sobre las propiedades de sustancias y procesos químicos (Lloyd, 1992). A principios del siglo XX tal conocimiento era de naturaleza esencialmente descriptiva, centrado en la discusión de diferencias y similitudes en el comportamiento de clases de sustancias o tipos de reacciones químicas. En la década de los sesenta, el currículo tradicional de química sufrió un cambio radical en el que se privilegió la descripción de las teorías y modelos utilizados para explicar y predecir las propiedades de la materia. Aunque este énfasis sigue siendo dominante, en años recientes han surgido currículos alternativos en los que el énfasis se pone en la descripción de los conocimientos que hemos adqui-

rido sobre fenómenos o problemas relevantes para las sociedades modernas, como calentamiento global y recursos energéticos (Bennett y Holman, 2002).

El rasgo común entre los currículos de química presentes y pasados es su enfoque en la comunicación de conocimientos que los químicos han adquirido sobre diferentes tipos de sistemas. Poco o nada se discute sobre cómo se piensa y se trabaja en la disciplina para resolver problemas de interés para los individuos o sus sociedades; poco se analizan las herramientas prácticas e intelectuales que guían el pensamiento químico en la búsqueda de soluciones a problemas trascendentes en el mundo actual: el énfasis es en enseñar lo que sabemos y no cómo pensamos (Talanquer y Pollard, 2010). Esta manera tradicional de conceptualizar los currículos de química, de alguna manera desdeña la importancia de que los estudiantes comprendan qué tipo de preguntas nos ayuda a responder la química y qué maneras de pensar nos permiten encontrar las respuestas. La atención se centra en la química como un conjunto de conocimientos establecidos, en lugar de la química cómo una forma de pensar sobre el mundo.

Desde esta perspectiva, el desarrollo de los currículos de química se beneficiaría de un análisis más cuidadoso de lo que la historia y filosofía de esta disciplina nos dicen sobre su naturaleza. Por ejemplo, ¿qué distingue a la química de otras disciplinas científicas? ¿Qué preguntas esenciales guían el desarrollo y aplicación del conocimiento químico? ¿Qué dilemas éticos y morales conlleva el hacer química o el hacer uso de los productos de la química? La discusión de respuestas potenciales a estas preguntas nos ayudaría a diseñar currículos y estrategias de enseñanza que mejor ayuden a los estudiantes, y a los ciudadanos en general, a reconocer, valorar y evaluar el rol que la química –así como sus profesionistas y productos– juegan en las sociedades modernas. Con el fin de ilustrar estas ideas, consideremos dos ejemplos en los que los análisis históricos y filosóficos sirven como guía para proponer cambios en el qué y el cómo enseñamos en química.

Comencemos tratando de identificar algunas de las preguntas esenciales que la química nos ayuda a responder. El trabajo de diversos historiadores y filósofos de la disciplina sugiere que gran parte del pensamiento químico, a través de la historia, se ha dedicado a diseñar estrategias para analizar y sintetizar sustancias (Bensaude-Vincent y Simon, 2008; Hoffmann, 1995; Knight, 1992; Laszlo, 1998). Es por tanto razonable proponer que las preguntas: ¿Qué es esto? (análisis) y ¿Cómo lo hago? (síntesis) han guiado el trabajo de practicantes de química durante cientos de años. Más allá de analizar y sintetizar sustancias, los

químicos también están interesados en transformarlas y en explicar y predecir su comportamiento. Por tanto, dar respuesta a las preguntas ¿Cómo lo cambio? (transformación) y ¿Cómo lo modelo? (modelaje) es también parte central del quehacer químico. De hecho, reconocidos científicos e ingenieros en los Estados Unidos han sugerido que dar respuesta a este tipo de preguntas en las áreas de recursos energéticos, vida y salud, nuevos materiales y medio ambiente, será el foco de atención de los profesionistas de la química en el siglo XXI (NRC, 2003; Talanquer, 2009a).

Contrastemos ahora las cuatro preguntas esenciales antes propuestas, con aquellas que hoy día parecen guiar el trabajo de estudiantes y docentes en cursos introductorios de química. La identificación de dichas preguntas no es fácil pues el currículo de química tradicional está organizado alrededor de temas frecuentemente desconectados unos de otros, tales como estequiometría, estructura atómica, ácidos y bases, y las preguntas centrales que estos conocimientos nos ayudan a responder no se hacen explícitas. Sin embargo, el análisis de las preguntas que tradicionalmente se incluyen en libros de texto revela que el interés se centra en responder a preguntas como estas: ¿Cómo se balancea una reacción química? ¿Cómo se construye la configuración electrónica de un átomo? ¿Cómo se calcula el pH de una solución? (Dávila y Talanquer, 2010). El énfasis se pone en aprender a resolver preguntas tan específicas y descontextualizadas que parecen irrelevantes y carentes de propósito.

Nuestra discusión sugiere que la selección y organización de contenidos de los cursos de química se beneficiaría del análisis histórico y filosófico de los propósitos centrales del quehacer y pensar en química. Los currículos deben modificarse para crear oportunidades de aprendizaje que ayuden a los estudiantes a entender la importancia de responder a preguntas como ¿Qué es esto? ¿Cómo lo sintetizo? ¿Cómo lo cambio? y ¿Cómo lo modelo? en contextos relevantes para su vida cotidiana y el mundo en el que viven (Talanquer y Pollard, 2010). Es crucial hacer explícitas las formas de pensar y las herramientas prácticas con las que contamos para resolver este tipo de problemas, así como involucrar a los estudiantes de manera activa en la generación de respuestas. En este proceso, hay que abrir espacios para reflexionar sobre los alcances y limitaciones del conocimiento y pensamiento químico, y sobre los costos y beneficios ambientales, económicos y sociales de nuestras actividades y decisiones.

El análisis histórico y filosófico de nuestra disciplina también podría ayudarnos a diseñar estrategias de enseñanza que reflejen de manera más auténtica

el quehacer de los profesionistas de la química. Varios autores han señalado el carácter «híbrido» de la Química, la cual posee rasgos distintivos tanto de ciencia como de tecnología, de disciplina abstracta como de oficio práctico, de ejercicio teórico y de arte manual (Bensaude-Vincent y Simon, 2008; Kovac, 2002; Sjöström, 2007). Sin embargo, en los últimos 50 años, su enseñanza ha estado dominada por la faceta de ciencia abstracta interesada en la descripción de la estructura submicroscópica de la materia, haciendo del laboratorio un espacio para confirmar la teoría (Lloyd, 1992). Incluso en años recientes, en que diversos educadores han resaltado la importancia de involucrar a los estudiantes en actividades de indagación (Erduran y Duschl, 2004; Justi y Gilbert, 2002), el trabajo se ha enfocado en desarrollar habilidades de modelaje y generación de argumentos y explicaciones, haciendo a un lado la faceta tecnológica de la química. Sin descartar la importancia de involucrar a estudiantes en actividades de indagación y argumentación científica, la naturaleza de la química demanda la incorporación de actividades de diseño tecnológico que ayuden a los estudiantes a entender el carácter tecnocientífico de nuestra disciplina. La incorporación de esta faceta nos ayudaría a enriquecer las discusiones de naturaleza ética y moral sobre el desarrollo y aplicación de los productos de la química (Erduran, 2009).

Los problemas del aprendizaje

Los resultados de la investigación en educación química en los últimos 30 años señalan que nuestra disciplina no es fácil de aprender (Gabel y Bunce, 1994; de Jong y Taber, 2007; Gilbert *et al.*, 2002; Taber, 2002). Para la mayoría de las personas, aprender química implica desarrollar formas de pensar que les son ajenas y para las cuales carecen de referentes concretos en el mundo que perciben. Muchos de los conceptos e ideas centrales en el pensamiento químico moderno sobre la estructura y propiedades de la materia desafían la intuición humana sobre el comportamiento de la naturaleza. Se trata de ideas desarrolladas, analizadas y debatidas a lo largo de cientos de años. Sin embargo, la química escolar demanda que los estudiantes las comprendan y apliquen de manera efectiva en unos cuantos meses.

Reconocer las dificultades asociadas con el aprendizaje de conceptos, ideas y formas de pensar en química es crucial para diseñar una enseñanza más efectiva. Esta tarea puede resultar difícil para los docentes, dada la diversidad de temas que se discuten en cursos tradicionales de química; el listado de concepciones alternativas, expresadas por estudiantes en cada uno de esos

temas es enorme, de acuerdo con resultados de investigación educativa (Duit, 2007). Sin embargo, una de las tesis que quisiéramos avanzar en este escrito es que la tarea docente podría facilitarse a través del análisis histórico y filosófico de la naturaleza y evolución de las ideas y formas de pensar en química. Para ilustrarlo, a continuación se presentan algunos casos concretos.

Herencia versus emergencia. Una gran número de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes de química resultan de su tendencia a trasladar o mapear las propiedades del mundo macroscópico al mundo submicroscópico de átomos y moléculas (Taber y García-Franco, 2010; Talanquer, 2006, 2009b). Así, es de esperar que estudiantes novatos consideren que los átomos en un pedazo de cobre poseen el mismo color, brillo y maleabilidad que este metal, y que se expandirán cuando la pieza de metal se caliente. La suposición central en esta forma de pensar es que las propiedades físicas y químicas de la materia son «hereditarias», ya sea porque la muestra macroscópica hereda las propiedades de las partículas o viceversa. Esta forma de pensar contrasta con la del pensamiento químico moderno, en el que se asume que un gran número de las propiedades de las sustancias «emergen» de la interacción dinámica entre los millones de partículas que constituyen el sistema (Luisi, 2002). Esto es, se reconoce la posibilidad de que el todo sea diferente de las partes y que haya propiedades que emergen a través de la formación de estructuras más complejas.

Desde la perspectiva histórica y filosófica, el enfrentamiento en la mente de los estudiantes entre la idea intuitiva de que las propiedades observables de la materia se heredan de las propiedades de sus componentes y la suposición contra-intuitiva de que el mundo visible emerge de la interacción entre las partes de un submundo completamente diferente no es extraño. Aunque expresado de diferentes maneras, el debate entre estas dos maneras de racionalizar las propiedades de la materia ha estado presente en las discusiones sobre la preeminencia de materia versus forma entre decenas de filósofos naturales, físicos y químicos a través de los siglos (Bensaude-Vincent y Simon, 2008; Schummer, 2008). De hecho, el análisis de la evolución del pensamiento químico a través de estas discusiones nos permite entender, e incluso predecir, la existencia de otras dificultades conceptuales y concepciones alternativas comúnmente presentes en estudiantes de química. Por ejemplo, la tendencia a «sustancializar» propiedades de cuerpos y procesos, como el calor, la energía y el color, o a conceptualizar compuestos químicos como sistemas mixtos, cuyas propiedades resultan del promedio ponderado de las propiedades de sus componentes (Taber y García-Franco, 2010; Talanquer, 2006, 2008).

Teleología versus causalismo. Una de las habilidades del pensamiento químico más valoradas en el salón de clases es la capacidad para explicar y predecir las propiedades de sustancias o el resultado de procesos con base en el análisis de la estructura y dinámica de los componentes a nivel submicroscópico. Una explicación razonable en esta área implica identificar causas y mecanismos con base en el análisis de la estructura atómica y molecular de las partículas involucradas. Sin embargo, los resultados de la investigación educativa señalan que los estudiantes tienen serias dificultades para generar explicaciones mecánicas causales y que frecuentemente construyen explicaciones teleológicas alternativas, en las que propiedades y procesos se describen como el resultado de deseos, intenciones o necesidades intrínsecas de átomos y moléculas (Talanquer, 2006, 2010). Por ejemplo, uno de los casos más estudiados describe la inclinación de los alumnos a explicar la reactividad de los átomos con base en su deseo de satisfacer la «regla del octeto» con el fin de estabilizarse (Taber, 2002).

Aunque la discusión sobre el rol de las explicaciones teleológicas es común en la filosofía de la Biología, poco se ha analizado y escrito sobre su papel en las explicaciones en Química (Talanquer, 2007). Esto es de alguna manera sorprendente dada la historia de nuestra disciplina, en la que las concepciones alquímicas sobre sustancias y procesos como entidades vivas parecen sobrevivir en el lenguaje químico coloquial usado por maestros y alumnos en los salones de clase, donde átomos y moléculas se quieren, buscan y atacan (Taber y Watts, 1996). Dada su prevalencia en los espacios educativos, los análisis histórico y filosófico en el papel y los alcances del pensamiento antropomorfista y teleológico en química, podrían ayudarnos a mejorar la enseñanza y facilitar el aprendizaje de la disciplina.

Hibridación versus multiplicidad. El uso de modelos para generar explicaciones y hacer predicciones es de significativa importancia en el aprendizaje de las ciencias en general (Erduran y Duschl, 2004; Justi y Gilbert, 2002). En esta área, sin embargo, la química se distingue de otras disciplinas en al menos dos maneras relevantes para su enseñanza y aprendizaje: a) Un mismo sistema puede representarse por diferentes modelos que describen su estructura y propiedades a diferentes escalas espaciales (del nivel submicroscópico al nivel macroscópico); b) Un mismo sistema puede representarse por diferentes modelos que describen, resaltan o conceptualizan diversos aspectos de su estructura o comportamiento a cierta escala. Como ejemplo del primer caso podemos considerar los modelos termodinámico (basados en entalpías) y molecular (basado en energías de enlace) para predecir calores de reacción.

Típicos ejemplos del segundo caso son constituidos por múltiples modelos de ácidos y bases a nivel molecular (Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis) o del enlace covalente a nivel electrónico (Lewis, enlace de valencia, orbitales moleculares).

Esta multiplicidad en el uso de modelos en química representa un reto para su enseñanza y aprendizaje. La investigación en el área sugiere que la mayoría de los estudiantes tienen dificultades para comprender el alcance o ámbito de aplicación de cada modelo, o para distinguir uno de otro (Justi y Gilbert, 2002). Como resultado, muchos de ellos tienden a: i) generar y utilizar modelos «híbridos» que contienen elementos, muchas veces, contradictorios; ii) sobre-generalizar la aplicación de un modelo determinado sin reconocer sus limitaciones. Desgraciadamente, muchos docentes carecen del conocimiento necesario para ayudar a los estudiantes a superar estos problemas o tienen las mismas dificultades que ellos. Por tanto, la enseñanza de la química podría beneficiarse enormemente de trabajos de carácter histórico y filosófico, que nos ayudarán a comprender de mejor manera la naturaleza, uso, alcances y limitaciones de los múltiples modelos utilizados para representar conceptos o ideas centrales en la disciplina (Erduran, 2001; Erduran, Arduriz-Bravo y Mamlok-Naaman, 2007).

Conclusiones

A lo largo de este trabajo se han presentado ejemplos de cómo los análisis históricos y filosóficos del conocimiento y de las formas de hacer y pensar en química podrían contribuir a mejorar su enseñanza y aprendizaje. Este tipo de investigaciones nos ayudarían a definir las preguntas esenciales que resulta relevante responder, así como algunas estrategias de enseñanza que reflejen de manera más auténtica la naturaleza del pensamiento y trabajo en química. También resultarían de utilidad para comprender y predecir importantes dificultades conceptuales asociadas con el aprendizaje de esta disciplina.

En general, las investigaciones en historia y filosofía de la química –por un lado– y en educación de esta ciencia –por el otro– se han desarrollado sin claros puntos de comunicación y contacto. Las ideas presentadas en este escrito sugieren que es necesario establecer una relación más estrecha entre el trabajo en estas subdisciplinas. En particular, los educadores de química nos beneficiaríamos de los resultados de trabajos de investigación y reflexión histórica y filosófica que, reconociendo los problemas centrales en la enseñanza y aprendizaje de la disciplina, nos ayudaran a entender las diferencias y similitudes en las formas de pensar y hacer en química comparadas con otras ciencias. La falta de una

conceptualización clara de la química como ciencia, tecnología o tecnociencia, en la que se identifiquen las características esenciales del trabajo, formas de pensar y valores de los practicantes de la química, nos seguirá manteniendo en un plano secundario en la definición de estándares y competencias en educación en ciencias en todo el mundo, los cuales, tradicionalmente, enfatizan y promueven una visión de la naturaleza de las ciencias que no necesariamente captura la esencia de nuestra disciplina.

Referencias bibliográficas

Bennett, J. y Holman, J. (2002). Context-based approaches to the teaching of chemistry: what are they and what are their effects? In: J. K. Gilbert *et al.* (Eds.), *Chemical education: towards research-based practice* (p.p. 165-184). Netherlands: Kluwer Academic Press.

Bensaude-Vincent, B. y Simon, J. (2008). *Chemistry: the impure science*. London: Imperial College Press.

Dávila, K. y Talanquer, V. (2010). Classifying end-of-chapter questions and problems for selected general chemistry textbooks used in the United States. *Journal of Chemical Education*, 87(1), p.p. 97-101.

De Jong, O. y Taber, K. S. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. In: S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.). *Handbook of research on science education* (p.p. 631-652). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Duit, R. (2007). *Bibliography STCSE: students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel, Germany: Leibniz Institute for Science Education. Disponible en: www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/.

Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: an emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10, p.p. 581-593.

Erduran, S. y Duschl, R. (2004). Interdisciplinary characterizations of models and the nature of chemical knowledge in the classroom. *Studies in Science Education*, 40, p.p. 111-14.

Erduran, S., Arduriz-Bravo, A. y Mamlok-Naaman, R. (2007). Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science & Education*, 16, p.p. 975-989.

Erduran, S. (2009). Beyond philosophical confusion: establishing the role of philosophy of chemistry in chemical education research. *Journal of Baltic Science Education*, 8, p.p. 5-14.

Gabel, D. L. y Bunce, D. M. (1994). Research on problem solving: chemistry. In: D. L. Gabel (Ed.). *Handbook of research in science teaching and learning* (p.p. 301-326). New York: Macmillan.

Gilbert J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F. y Van Driel, J. H. (2002). Chemical education: towards research-based practice. Netherlands: Kluwer Academic Press.

Hoffmann, R. (1995). The same and not the same. New York: Columbia University Press.

Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). Models and modeling in chemical education. In: J. K. Gilbert *et al.* (Eds.). Chemical education: towards research-based practice (p.p. 47-68). Netherlands: Kluwer Academic Press.

Knight, D. (1992). Ideas in chemistry: a history of the science. Cambridge: The University Press.

Kovac, J. (2002). Theoretical and practical reasoning in chemistry. *Foundations of Chemistry*, 4, p.p. 163-171.

Laszlo, P. (1998). Chemical analysis as dematerialization. *HYLE*, 4(1), p.p. 29-38.

Lloyd, B. W. (1992). A review of curricular changes in the general chemistry course during the twentieth century. *Journal of Chemical Education*, 69, p.p. 633-636.

Luisi, P. L. (2002). Emergence in chemistry: chemistry as the embodiment of emergence. *Foundations of Chemistry*, 4, p.p. 183-200.

National Research Council (NRC) (2003). Beyond the molecular frontier: challenges for chemistry and chemical engineering. Washington, D.C.: The National Academy Press.

Schummer, J. (2008). Matter versus form and beyond. In: K. Ruthenberg, K. y Van Brakel, J. (Eds.). *Stuff: the nature of chemical substances* (p.p. 3-18). Würzburg: Königshaus & Neumann.

Sjöström, J. (2007). The discourse of chemistry (and beyond). *HYLE*, 13(2) p.p. 83-97.

Taber, K. S. y Watts, M. (1996). The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), p.p. 557-568.

Taber, K. S. (2002). Chemical misconceptions: prevention, diagnosis and cure. Volume I: Theoretical background. London: Royal Society of Chemistry.

Taber, K. S. y García-Franco, A. (2010). Learning processes in chemistry: drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter. *The Journal of the Learning Sciences*. 19, p.p. 99-142.

Talanquer, V. (2006). Common sense chemistry: a model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), p.p. 811-816.

_____ (2007). Explanations and teleology in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 29(7), p.p. 853-870.

_____ (2008). Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: additive versus emergent frameworks. *International Journal of Science Education*, 92(1), p.p. 96-114.

_____ (2009a). Química: ¿Quién eres, a dónde vas y cómo te alcanzamos? *Educación Química*, 20(E), p.p. 220-226.

_____ (2009b). On cognitive constraints and learning progressions: the case of structure of matter. *International Journal of Science Education*, 31, p.p. 2123-2136.

_____ (2010). Exploring dominant types of explanations built by general chemistry students. *International Journal of Science Education*, 32(18), p.p. 2393-2412.

Talanquer, V. y Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*. 11, p.p. 74-83.

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

José Antonio Chamizo

Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

A partir de una breve revisión histórica se identifican los orígenes filosóficos de muchos de los actuales currículos de ciencias en el mundo, particularmente de química. Contra ésta postura dominante se presenta la propuesta histórico-filosófica de Stephen Toulmin y se indican ejemplos de su aplicación en los cursos de ciencias.

Palabras clave

Toulmin, currículo, química, problemas, argumentación, tecnociencia.

Voy a lanzar ciertas acusaciones contra los enseñantes de ciencias y la enseñanza de la ciencia. En primer lugar, los acuso a ustedes, enseñantes de ciencias, de dedicar sus energías a la mera transmisión de conocimientos y principios científicos; de ser, en otras palabras, libros de texto animados... hasta el punto de que sus alumnos creen que la ciencia no es nada más que eso...

En segundo lugar, los acuso de dar a sus alumnos una idea falsa de la esencia de la ciencia... los acuso de no transmitir la gran verdad de que la esencia de la ciencia es un método, una empresa desordenada, imaginativa, con frecuencia poco sistemática donde la suerte y la perseverancia desempeñan un papel importante...

Los acuso, pues, de transmitir a sus alumnos la idea falsa de que los modelos y analogías que utilizan para explicar ideas científicas son representaciones exactas de la realidad, en vez de ser, como son en realidad, construcciones imaginativas de la mente humana.

W. J. Fletcher, 1979

Antecedentes

Al final de la Segunda Guerra Mundial, después de que el ejército soviético había tomado Berlín en marzo de 1945 y Hitler se había suicidado, el presidente norteamericano H. Truman tomó la terrible e innecesaria decisión (una vez que la guerra para todos los fines prácticos estaba concluida, y Japón también había sido derrotado desde la batalla naval de Midway en 1942, contra la marina estadounidense) de arrojar bombas atómicas sobre las ciudades japonesas indefensas de Hiroshima y Nagasaki (Easlea, 1983; García, 1987). Hay suficiente información histórica que demuestra que Japón buscaba rendirse después de que Alemania ya lo había hecho y cuando enfrentaba también al ejército soviético en China (país que había ocupado previamente) y apenas se podía defender de las incursiones aéreas norteamericanas que bombardeaban las ciudades japonesas repetidamente¹. Ante la amenaza que la bomba atómica representaba para su propia seguridad, el ejército soviético se dedicó a producir la suya propia, objetivo que logró en 1949, con lo que se concretó lo que se conocería como la Guerra Fría, que duraría, según diversos historiadores, cuarenta años más. A la explosión de una bomba norteamericana de gran potencia, le seguía la de una soviética aún mayor. De las bombas de fisión se pasó a las de fusión (también conocidas como bombas de hidrógeno) y poco a poco otros países se incorporaron al selecto grupo de potencias «atómicas». Durante los años cincuenta en los Estados Unidos el macartismo y la persecución inquisitorial de toda persona que pensara diferente de las normas establecidas, se cobró una buena cantidad de víctimas, particularmente entre la comunidad artística y filosófica. Respecto a esta última es pertinente recordar que una de las razones del fracaso actual de integrar curricularmente la actividad científica profesional con un proyecto socio-cultural, se debe a lo que se conoció durante una buena parte del siglo XX como filosofía de la ciencia, es decir, la posición dominante

.....
1 Por ejemplo, en la noche del 9 de marzo de 1945, Tokio fue bombardeada con napalm y murieron más de 80000 personas, y otras tantas quedaron heridas, el equivalente en pérdidas humanas a las del bombardeo de Nagasaki.

originada alrededor del Círculo de Viena. Recientemente se han estudiado sus orígenes históricos, particularmente los textos en alemán de sus fundadores, entre los que sobresale O. Neurath. Así resulta que (Reish, 2009, p. 27):

Dado que ahora sabemos que el empirismo lógico fue originalmente un proyecto filosófico con ambiciones culturales y sociales, nos encontramos en el momento oportuno para preguntarnos cómo fue transformada la disciplina y cómo se perdieron estas ambiciones culturales y sociales. La respuesta que se defiende aquí es que fue transformada durante la década de 1950, al menos parcialmente –si no principalmente– por presiones políticas que eran comunes a lo largo de toda la vida cívica, así como también de la vida intelectual, durante la Guerra Fría, que siguió a la Segunda Guerra Mundial. En gran parte, estas presiones llevaron al empirismo lógico a deshacerse de sus compromisos culturales y sociales debido al cambio en el movimiento de Unidad de la Ciencia de Neurath. El movimiento no era meramente un frente público y científico para un programa que, de otro modo, hubiera sido filosófico e independiente. Contribuyó a determinar qué clase de preguntas y temas de investigación eran perseguidos y cómo eran perseguidos, en el corazón de la filosofía de la ciencia.

La postura filosófica detrás del currículo dominante

A pesar de lo anterior, en pleno macartismo y en los mismos Estados Unidos, seguían oyéndose voces contrarias a la represión intelectual, destacándose entre ellas la de L. Pauling, ganador del premio Nobel de Química en 1954² y del de la Paz en 1962. En la carrera armamentista los Estados Unidos parecían ir adelante, pero todo cambió cuando en 1957 los soviéticos lanzaron el Sputnik, la primera nave espacial. La conmoción al interior del gobierno norteamericano fue terrible y afectó de una manera u otra todos los ámbitos sociales, entre ellos

2 Pudo acudir a recibirlo porque el gobierno de los Estados Unidos le devolvió su pasaporte, el cual previamente le había sido retenido por sus posiciones públicas a favor de la paz. Al recibir la noticia que se había hecho merecedor del premio Nobel por su trabajo sobre la estructura de las proteínas, Pauling le dijo a los periodistas que le preguntaban si iría a recibirlo: «No creo que haya algún problema, la Alemania nazi prohibió a sus científicos ir a Suecia por el premio, pero supongo que los Estados Unidos no lo harán».

los programas de ciencias, que se redefinieron en los años sesenta del siglo pasado. Éstos buscaban capturar a los mejores alumnos de estas disciplinas para involucrarlos en proyectos militares (Barnet, 1976, p. 54):

El *establishment* militar de los Estados Unidos ha avanzado un largo trecho desde el día, a fines de los años treinta, en que un químico que deseaba trabajar para la marina fue rechazado porque el departamento ya contaba con uno. Actualmente, más de la mitad de los científicos e ingenieros del país trabajan directa o indirectamente para el Pentágono. Los logros tecnológicos han llegado a ser un fin en sí mismos.

El PSSC (*Physical Science Study Course*), el BSCS (*Biological Science Curriculum Study*) y el *Chem Study* (*Chemical Education Material Study* [Tabla 1]) (Pimentel, 1988) en los Estados Unidos, y el Proyecto Nuffield en el Reino Unido, constituyeron la respuesta educativa, a nivel preuniversitario, para generar mejores científicos al interior de estos países, una vez que la migración intelectual centroeuropea, debida al nazismo, difícilmente se repetiría.

Fecha	Acontecimiento
1957	La URSS lanza el primer satélite artificial, el Sputnik.
1959	G. T. Seaborg (premio Nobel de química en 1951 por la síntesis de nuevos elementos) y G. C. Pimentel (descubridor del laser químico) bajo petición del gobierno norteamericano inician y dirigen el proyecto. Sus principales características son: - Está dirigido al 40% de los mejores alumnos de los Estados Unidos, es decir, en el mejor de los casos al 20% que seguirá una carrera científica o de ingeniería. - Se busca la «comprensión» de los principios, en lugar de los «hechos» de la química. - Hay un fuerte énfasis en el trabajo experimental.
1963	Publicación de los textos.
1965	Más de 7000 escuelas utilizan películas asociadas al material publicado.
1967	Desde 1963, de cada diez libros de texto escritos en los Estados Unidos, cinco han sido muy influenciados por el Chem Study, tres medianamente y dos no lo han sido.
1971	Existen 250000 copias en inglés. La mitad de los estudiantes en los Estados Unidos lo utiliza. Ha sido traducido a 11 idiomas.
1983	Es el año de menor venta de los textos de Chem Study desde su aparición. Su impacto, sin embargo, continúa.

Continúa...

Fecha	Acontecimiento
1989	Las películas, revisadas, son incorporadas en las escuelas a través de la National Science Foundation.

Tabla 1: Cronología del *Chem Study*

Así, después del lanzamiento del Sputnik en 1957, la enseñanza de la química asumió un currículo químicamente puro que los estudiantes tenían que aprender prácticamente de la misma manera en todo el mundo (Chamizo, 2001)³. Se redujeron las experiencias empíricas y descriptivas a favor de los principios fisicoquímicos, en un momento en que la matrícula escolar y el número de instituciones educativas crecían de manera muy importante. Lo anterior coincidía con lo dicho pocos años después por el entonces presidente francés C. de Gaulle en un discurso en la Universidad de Oxford (Varsavsky, 1975, p. 18), mucho antes de que entráramos públicamente al mundo globalizado:

A partir del momento en que todos los hombres leen lo mismo en los mismos diarios; ven de un rincón al otro del mundo las mismas películas; oyen simultáneamente las mismas informaciones, las mismas sugerencias e idéntica música a través de la radio, la personalidad íntima de cada uno, el propio ser, la libre elección, dejan de contar absolutamente. Se produce un notable esfuerzo de salvaguardia, el individuo no puede impedir su destrucción.

Independientemente del nivel escolar en los diversos currículos se indica que la química es una ciencia (como acto de fe), que la materia está compuesta por

3 Lo anterior no siempre fue así, de hecho la consolidación de la profesión química se originó por la multitud de experiencias curriculares diferentes. Como lo indica la historiadora Bensaude-Vincent (1997, p.p. 83-84):

La creación de instituciones docentes y de investigación de nuevo tipo, garantiza el estatuto y el reconocimiento social de la disciplina, permite la difusión de los conocimientos y la formación de un ejército de químicos... El que la Química, dentro del proceso global de profesionalización de las ciencias que durante la primera mitad del siglo XIX afecta a todos los campos del saber, estuviera a menudo a la vanguardia, se debe también a que este proceso se alimentaba de una transformación efectiva y no solamente formal de las prácticas químicas (...) pero, sobre todo, es su promoción en la enseñanza superior la que transforma el estatuto de la Química. En España, Alemania, Francia, Gran Bretaña, Estados Unidos..., en todas partes donde se desarrolla la enseñanza de las ciencias experimentales, se multiplican las cátedras de Química. La Química se impone poco a poco en los distintos estudios, no sólo farmacéuticos y médicos, sino también de ingeniería y agricultura. El fenómeno es internacional y sus efectos son numerosos e importantes (...) la Química se ejerce como una profesión. Una actividad a tiempo completo, remunerada, que exige una formación previa y estudios sancionados por diplomas. La conquista de los territorios académicos por parte de los químicos va a seguir vías distintas dependiendo de los países, pues la química del siglo XIX es europea y a la vez está profundamente impregnada de estilos nacionales.

átomos y moléculas, que hay cambios físicos y químicos y que una manera de reconocerlos es a través de la reacción química, sin duda el corazón de todo el plan de estudios. Sin embargo, la enorme cantidad de conocimiento empírico, la energía y el tiempo asociados a las reacciones químicas, por no decir las implicaciones sociales del saber químico, así como la historia y la filosofía de la química, parecen ser asuntos de segunda importancia, y generalmente son relegados u ocupan un espacio menor. A pesar de los muchos esfuerzos por adecuar y mejorar la puesta en práctica de dicho currículo en las aulas (por ejemplo Jensen, 1998), intentando generalizarlo a todos los estudiantes (contrario a lo que se muestra en la Tabla 1... ;ya no estamos en la Guerra Fría!), los resultados han sido malos (Fensham, 1992, Matthews, 1998), particularmente en química (entre los alumnos que estudiaron el *Chem Study* y el proyecto paralelo, *Chemical Bond Approach*; Shymansky, 1983) y la interpretación de Schwab (1962) de que la enseñanza de la ciencia es un dogma o una retórica de conclusiones, permanece inalterable.

En los laboratorios, por ejemplo, espacio fundamental en el aprendizaje de la química y lugar donde se entronizó el llamado «método científico», a los estudiantes se les pide que realicen diferentes actividades y que de allí establezcan conclusiones. Todos los estudiantes lo deben hacer al mismo tiempo, ya que hay una expectativa de que las conclusiones son evidentes y uniformes. Lo anterior sólo sucede si todos los estudiantes comparten las mismas ideas previas (Kind, 2004) y evalúan sus observaciones de acuerdo con los mismos esquemas conceptuales. En otras palabras, los profesores anticipan que datos semejantes (cuando así se presentan) llevarán a estudiantes diferentes a las mismas conclusiones. Como esto no sucede ni en los laboratorios escolares ni en los que se desarrolla investigación profesional, la química y las ciencias en general se presentan como conocimientos infalibles que deben memorizarse. Como lo indica Hodson (1994, p. 304), las actividades experimentales son sobreutilizadas e infrautilizadas:

Son usadas en demasía en el sentido de que los profesores emplean las prácticas como algo normal y no como algo extraordinario, con la idea de que serviría de ayuda para alcanzar todos los objetivos del aprendizaje. Son infrautilizadas en el sentido de que sólo en contadas ocasiones explotan completamente su auténtico potencial.

Además se acumulan numerosos indicios de que las mismas han tenido poco efecto sobre los logros, actitudes, razonamiento, pensamiento crítico, habili-

dades de manipulación, interés o retención en los cursos de ciencias (Nakaleh, 2002). Más aún, muchos alumnos no entienden cuál es la razón de ser del experimentar (Russell, 2008) y muchos asumen que lo hacen bien cuando siguen de manera correcta las instrucciones recibidas y terminan en el tiempo establecido.

La alternativa histórico-filosófica propuesta por Stephen Toulmin

La posición dominante sobre el currículo, esto es la educación química normal, se sustenta filosóficamente en el positivismo lógico, originada alrededor del Círculo de Viena (van Berkel, 2000). Sobre esta corriente diversos investigadores educativos han manifestado en los últimos años sus particulares desacuerdos (Driver, 2000; van Aalvoort, 2004) sin embargo han sido muchos filósofos los que más claramente han identificado sus carencias, entre los que hay que destacar la figura, prácticamente olvidada, del físico, historiador y filósofo S. Toulmin (1922-2009).

Su tesis de doctorado, *El puesto de la razón en la ética*, bajo la fuerte influencia del que fue su profesor en Cambridge y tal vez el filósofo más original del siglo XX, L. Wittgenstein, se volvió el primero de una gran cantidad de libros de la que Toulmin es autor. Aquí, comparando la ciencia con la ética, indica que los juicios científicos modifican las predicciones, mientras que los juicios éticos, las opiniones y la conducta. Para él, la ética es una parte del proceso por medio del cual se armonizan los deseos y las acciones de los miembros de una comunidad. Así, una comunidad abierta no sigue ciegamente un código de deberes, sino que los desarrolla, adaptándolos a las nuevas situaciones. Éste es el puesto de la razón en la ética. Para ello redefine la figura del «moralista» como aquel que es capaz de reconocer cuándo un principio o institución ha perdido su utilidad y cuándo se necesita algo nuevo (Toulmin, 1964, p.p. 249-250):

[...] no está bien que aceptemos sin crítica las presentes instituciones, pues deben evolucionar, igual que las situaciones a las que se aplican. Hay, por tanto, siempre un puesto en la sociedad para el «moralista» que critica la moralidad e instituciones del momento y defiende prácticas más cercanas a un ideal. El ideal que debe mantener ante sí es el de una sociedad en que no se tolere ni la pobreza, ni la frustración. Los expertos en las ciencias naturales son quienes tienen que descubrir los medios de reducir la magnitud de la pobreza que hay en el mundo, proporcionando así nuevos canales de sa-

tisfacción y autorrealización, pero el testimonio de la ciencia sigue versando sobre lo que es practicable, es decir, sobre hechos: lo que es o podría ser, no sobre lo que debiera ser.

Alo largo de su carrera desarrolló diversas ideas que tienen mucho que ver con la enseñanza: la argumentación, la resolución de problemas y la relación entre la ciencia y la tecnología, en lo que otros filósofos identificaron como tecnociencia.

Desde su publicación en 1958 (reimpreso en 2003), el denominado «modelo de Toulmin» de argumentación ha sido motivo de una gran cantidad de artículos, libros y cursos. La importancia del lenguaje y la argumentación en la enseñanza de las ciencias fue manifiestamente reconocida hace más de una década (Lemke, 1990; Sutton, 1997; Jiménez-Aleixandre, 1998; Erduran, 2004) y su papel protagónico en la enseñanza de las ciencias fue defendido por Driver (2000, p. 291):

Si el objetivo central de la educación en ciencias es persuadir a los alumnos a buscar evidencias y razones para las ideas que tenemos y considerarlas seriamente como guías para la certidumbre y la acción, entonces al basarnos en la autoridad tradicional no sólo caricaturizamos las normas de la argumentación científica, sino que también distorsionamos la naturaleza de la autoridad de la ciencia.

Como lo han demostrado Latour y Wolgar (1995) en su minuciosa descripción del trabajo de investigación en los laboratorios de ciencias, lo que hacen los científicos es aclarar de entre diversos –y muchas veces confusos– resultados, aquellos que parecen ser los más relevantes para resolver el problema en el que están trabajando. Para hacerlo argumentan, una y otra vez entre ellos, hasta que una postura resulta ser suficientemente convincente para «todos». La práctica de la ciencia (Hodson, 1994) requiere de una argumentación racional. Lo anterior resulta complicado para muchos docentes. Ellos, que tenían la exclusividad del saber, hoy la han perdido o la están perdiendo ante la explosión de más y mejor información que hay en libros, videos, museos, computadoras e Internet (Chamizo, 2000)⁴. Ante unas demandas que cambian y que requieren que sus

4 Por ejemplo, la cantidad de información está creciendo casi tan rápido como se desarrollan las nuevas tecnologías. Se ha calculado que hoy en día una persona 'normal' procesa más información en 24 horas que otra persona 'normal' en toda su vida hace quinientos años, momento en el que se establecieron de manera clara los fundamentos de las universidades. Al inicio del siglo XXI un estudiante estadounidense promedio, de 21 años, ha pasado 10 000 horas con videojuegos, enviado 20 000 emails, visto 20 000 horas de televisión, hablado 10 000 horas a través de un teléfono móvil y menos de 5 000 horas leyendo (Rodgers, 2006).

estilos también lo hagan, muchos docentes se encuentran ante una crisis de identidad y se repliegan a su posición de autoridad. Contra esta respuesta simple, que contraviene también la tradición del pensamiento científico, hay que enseñar a los estudiantes a argumentar de manera competente; para ello hay que proporcionarles las herramientas y la práctica necesarias para que puedan hacerlo. Por esta razón hay que argumentar en las aulas. Como Kress ha indicado (1998), el mundo no habla por sí mismo.

Sobre la resolución de problemas, el eje central del libro de Toulmin dedicado al tema (1977) es el «concepto», caracterizado a través de una interacción histórico-social específica, es decir, en un contexto determinado (1977, p. 49):

Cada uno de nosotros es dueño de sus pensamientos; pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes [...] y de lo que creemos somos responsables como individuos; pero el lenguaje en que se articulan nuestras creencias es propiedad pública.

Así, basándose en la historia de la ciencia, Toulmin manifiesta de manera muy clara que las razones prácticas –podríamos adelantar que el entorno (Chamizo, 2005)– influyen en la evolución de los conceptos científicos.

Los conceptos científicos desarrollados a lo largo de la historia integran una complejidad tal, que es necesario distinguir en ellos tres aspectos diferentes, tres características que permitirán utilizarlos, particularmente en el espacio educativo, de mejor manera:

1. el lenguaje;
2. las técnicas de representación; y
3. los procedimientos de aplicación de la ciencia.

La ciencia aparece así, como una de las diferentes disciplinas intelectuales que las sociedades humanas han construido a lo largo de su propia historia. La unidad de las disciplinas intelectuales, en las que siempre se consideran no sólo los conceptos sino también las personas que los conciben, se debe a las ambiciones intelectuales del grupo que trabaja en ellas y les da forma. En pocas palabras, la unidad de una disciplina intelectual refleja la continuidad impuesta a los problemas que aborda (Estany, 1990; Izquierdo, 2005; Camacho, 2007).

El planteamiento de Toulmin de aproximarse a la comprensión humana como la suma de varias empresas racionales en evolución, le permite considerar bajo el mismo esquema tanto a la ciencia como a la tecnología (Chamizo, 2010), asunto que a los puristas académicos les cuesta mucho trabajo hacer. Para él

las artesanías y tecnologías profesionales especializadas tienen tanto derecho como las ciencias a ser llamadas disciplinas y comparten los mismos tipos de cambio histórico. Así (Toulmin, 1977, p. 370):

El elemento fundamental de una disciplina colectiva es el reconocimiento de un objetivo o ideal sobre el que existe suficiente acuerdo y en términos del cual es posible identificar los problemas comunes principales. Cuando este objetivo común es de carácter explicativo, la disciplina es científica [...] A este respecto, la herrería, en tanto una actividad profesional disciplinada como la cristalografía, la medicina tanto como la fisiología, la ingeniería electrónica tanto como la física atómica. Por naturaleza, los ideales colectivos que gobiernan el desarrollo tecnológico no son explicativos, ni en las intenciones ni en los efectos. En cambio son prácticos, por estar dirigidos a mejorar las técnicas para producir y distribuir materiales, vehículos, medios de comunicación, información, etc. Correspondientemente, la transmisión de una técnica en desarrollo histórico comprende no una población cambiante de teorías y conceptos, sino una población cambiante de recetas y diseños, técnicas y procesos de fabricación y otros procedimientos prácticos.

Al considerar la historia de la tecnología como una disciplina colectiva en evolución, con sus propios problemas, Toulmin cuestiona la arraigada idea de que ésta es únicamente un catálogo de artefactos creados para mejorar nuestra existencia; es más bien el testimonio público de la fertilidad de la mente creadora presente en las diversas sociedades que han habitado nuestro planeta, una de las mayores expresiones de la vida humana. Lo anterior coincide con Latour (1992), quien incorpora el término tecnociencia «para describir todos los elementos vinculados a contenidos científicos sin que importe lo sucios, inesperados o extraños que parezcan» (p. 168).

En su último libro, *Return to reason*, publicado en 2001, Toulmin hace un recuento de algunas de sus ideas más importantes bajo el esquema de lo racional y lo razonable. Para él, durante el siglo XVI los argumentos razonables y bien sustentados, lo que se puede identificar como el conocimiento práctico, tenían tanta aceptación como las demostraciones matemáticas más rigurosas. Simplemente respondían a necesidades diferentes. Sin embargo el siglo XVII vio emerger el encumbramiento de la certeza, la racionalidad, que desplazó

esta anterior equidad para darle un valor y reconocimiento mayor a los procedimientos matemáticos, particularmente a la física, con los que se pretendió dar respuestas a todas las áreas del conocimiento humano, incluyendo el económico, el sociológico e incluso el moral.

Encuentra muy limitada la idea convencional de racionalidad como aquella en la que los argumentos se centran en conceptos abstractos y las explicaciones apelan a leyes universales, neutrales, atemporales y descontextualizadas. Por otro lado, la razonabilidad caracterizada por su énfasis en las narrativas específicas, contextualizadas, éticas y temporales, parece complementar a esta «parcial» y tan en boga racionalidad. Toulmin resuelve el asunto proclamando que el regreso a la razón consiste en el reconocimiento de lo que de razonable hay en nosotros. De manera general y simplificada se puede decir que la racionalidad responde a lo universal, abstracto, atemporal, necesario y unívoco, mientras que la razonabilidad a lo particular, concreto, presente, contingente y diverso (Figura 1; Chamizo, 2007):

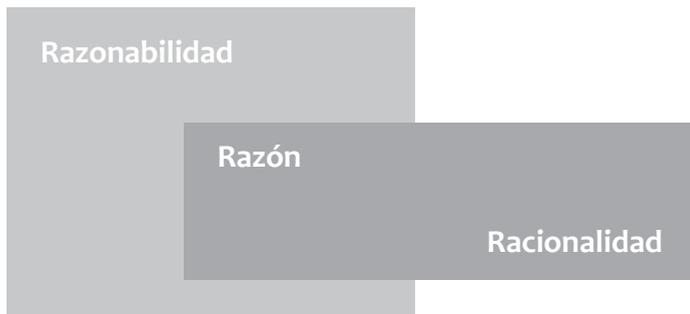


Figura 1: Componentes de la razón

Así el futuro queda abierto y las sociedades pueden construir escenarios sobre los distintos mundos posibles, «podemos descartar sueños de claridad eterna, regresar al mundo de dónde y cuándo, retomar contacto con la experiencia cotidiana y afrontar nuestras vidas y nuestros asuntos día a día» (Toulmin, 2001, p. 306).

Una aplicación de estas ideas en la enseñanza de las ciencias ha sido propuesta por Izquierdo (2004) (Tabla 2) y aplicada por Robles (2008), Pérez (2010) y Henao (2011).

- *Concepciones actuales de la ciencia.* Donde se destaca el cambio de la idea tradicional de la ciencia como conocimiento, al de ciencia como actividad humana transformadora de la realidad.
- *La ciencia escolar.* La que corresponde a los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. No es la ciencia tal cual de los científicos, sino una reconstrucción de ésta, que tampoco es un reflejo de los saberes cotidianos de los alumnos. Aquí la idea principal es la de transposición didáctica.
- *Resolución de problemas tanto teóricos como prácticos.* Los alumnos abordan su resolución de manera razonable, de acuerdo con las condiciones particulares en las que se encuentren (edad, infraestructura material, tiempo, etc.), reuniendo para ello la teoría con la práctica y expresando sus soluciones con el mejor uso posible del lenguaje.

Tabla 2: Aspectos fundamentales a considerar en una enseñanza de la ciencia racional (en el que se aprenda a pensar mediante modelos científicos) y razonable (a partir de preguntas que tengan sentido para los estudiantes). Modificado de Izquierdo y Aliberas, (2004).

De cara al futuro, Toulmin indica que éste no pertenece, por ejemplo, ni al médico experto en bioquímica molecular, como tampoco al economista experto en el cálculo de las tasas de interés necesario para mantener el retorno de tal o cual inversión. El énfasis en el rigor teórico (es decir racional) será sustituido por un equilibrio diferente, donde los valores y los ideales (relacionados con la razonabilidad) serán fundamentales: «El futuro no pertenece tanto a los pensadores puros que se contentan –como mucho– con consignas optimistas o pesimistas; es más bien una provincia para profesionales reflexivos que están dispuestos a actuar siguiendo sus ideales» (Toulmin 2001, p 214).

Referencias bibliográficas

- Barnet, R. J. (1976). *La economía de la muerte*. México: Siglo XXI.
- Bensaude-Vincent, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison-Wesley/Universidad Autónoma de Madrid.
- Camacho, J. y Cuéllar, L. (2007). La tabla periódica analizada desde el modelo de Toulmin. Aportes para la enseñanza de la historia de la Química. En: Quintanilla M. (2007). *Historia de la Ciencia. Propuestas para su Divulgación y Enseñanza*. Vol II. Santiago: Arrayan Editores.
- Chamizo, J. A. (2000). La enseñanza de las ciencias en México. El paradójico papel central del profesor. *Educación Química*, 11, p.p. 132-136.

_____ (2001). El currículo oculto en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 12, p.p. 194-198.

_____ (2007). Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 25, p.p. 133-146.

_____ (2010). La relación técnica-ciencia y su racionalidad. El ejemplo de S. Toulmin. *Ludus Vitalis*, 18, p.p. 155-171.

Chamizo, J. A. e Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía. *Alambique*, 46, p.p. 9-17.

Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, p.p. 287-312.

Easley, B. (1983). *Fathering the unthinkable. Masculinity, scientists and the nuclear arms race*. London: Pluto Press.

Erduran, S., Simon S. y Osborne, J. (2004). Taping into argumentation: developments in the use of Toulmin's argument pattern in studying science discourse. *Science Education*, 88, p.p. 915-933.

Estany, A. e Izquierdo, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de Toulmin. *Llull*, 13, p.p. 349-378.

Fensham, P. J. (1992). Science and technology. In: Jackson, P. W. (Ed.). *Handbook of research on curriculum*. New York: Macmillan.

Fletcher, W. J. (1979). Science teaching: are we nurturing scientist or conformists? *New Zealand Science Teacher*, 21, p.p. 46-54.

García, H., (1987). *La bomba y sus hombres*. México: Alhambra Mexicana, IPN.

Henaó, B. L., Stipcich, M. S. y Moreira, M. A. (2011). La educación en ciencias desde la perspectiva epistemológica de Stephen Toulmin. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 5, p.p. 232-248

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, p.p. 299-313.

Izquierdo, M. y Chamizo, J. A. (2005). Toulmin's concepts and problem characterization in chemistry and chemistry teaching proceedings. From *8th International History and Philosophy of Science Teaching Group*. International Conference, Leeds.

Izquierdo, M. y Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències. Materials 150*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.

Jensen, W. B. (1998). Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75, p.p. 679-687; 817-828; 961-969.

Jiménez-Aleixandre, M. P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, p.p. 203-216.

Kind, V. (2004). Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química. México: UNAM-Santillana.

Kress, G., Ogborn, J., Jewitt, C. y Tsatsaleis, B. (1998). Rhetoric's of the science classroom: a multimodal approach. London: Institute of Education.

Latour, B. y Wolgar, S. (1995). La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos. Madrid: Alianza Editorial.

Latour, B. (1992). Ciencia en acción. Barcelona: Labor.

Lemke, J., (1990). Talking science, language, learning and values. Norwood: Ablex.

Matthews, M. R. (1994). Science teaching: the role of history and philosophy of science. London: Routledge.

Nakhleh, M. B. Polles, J. y Malina, E. (2002). Learning chemistry in a laboratory environment. En: Gilbert, J. K. De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F. y Van Driel, J. H. (Eds.). Chemical education: towards research-based practice. Kluwer, Dordrecht.

Pérez, Y. (2010). Aprendizaje basado en la solución de problemas: una propuesta de aplicación de la definición de problema de Toulmin en el tema de minerales en la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM. Tesis de Maestría. México: MADEMS, UNAM.

Pimentel, G. C. y Ridgway, D. W. (1988). Chem study: past-present-future. *Chem 13 News*, 178, p.p. 4-5.

Robles, C. (2008). Aprendizaje basado en la solución de problemas: una propuesta de aplicación de la definición de problema de Toulmin en la segunda unidad del curso de Química II del Colegio de Ciencias y Humanidades en la UNAM. Tesis de Maestría. México: MADEMS, UNAM.

Reish, G. A. (2009). Cómo la Guerra Fría transformó la filosofía de la ciencia. Buenos Aires: Universidad de Quilmes.

Russell, C. B. y Weaver, G. C. (2008). Students' perceptions of the purpose and function of the laboratory in science: a grounded theory study. *International Journal for the scholarship of teaching and learning*, 2, p.p. 1-14.

Rodgers, M., Runyon, D., Starret, D. y Von Holzen, R. (2006). The 21st Century learner' proceedings. From the 22nd Annual Conference on Distance Teaching and Learning. Madison.

Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as inquiry. Cambridge: Harvard University Press.

Shymansky, J. A., Kyle, W. C. y Alport, J. M. (1983). The effects of new science curricula on students performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, p.p. 387-404.

Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, p.p. 8-32.

Toulmin, S. (2003). The uses of argument. Cambridge: Cambridge University Press.

- _____ (2001). Return to reason. Cambridge: Harvard University Press.
- _____ (1977). La comprensión humana. El uso colectivo y evolución de los conceptos. Madrid: Alianza Editorial.
- _____ (1964). El puesto de la razón en la ética. *Revista de Occidente*, Madrid.
- Van Aalsvoort, J. (2004). Logical positivism as a tool to analyze the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science Education*, 26, p.p. 1151-1168.
- Van Berkel, B., de Vos, W., Verdonk, A. H. y Pilot, A. (2000). Normal science education and its dangers: the case of school chemistry. *Science & Education*, 9, p.p. 123-159.
- Varsavsky, O. (1975). Ciencia, política y cientificismo. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

Durante los días 24 y 25 de octubre de 2011 se realizó el Seminario Internacional Química: Historia, Filosofía y Educación, una iniciativa de estudiantes, egresados y docentes de la Universidad Pedagógica Nacional y la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Diversos invitados internacionales contribuyeron a este evento académico con sus investigaciones y reflexiones en este campo, las cuales se recogen en la presente obra.

Este texto es una oportunidad para actualizar las reflexiones sobre los aportes de los análisis históricos, epistemológicos y filosóficos a la enseñanza de la química y a la formación de docentes de ciencias. Emergen dos desplazamientos: primero los análisis históricos como un diálogo intencionado que actualiza las preguntas que los profesores tenemos sobre la constitución y la dinámica de la actividad científica. Segundo, la necesidad de consolidar implicaciones para la enseñanza de las ciencias que redimensionen las relaciones que establezcamos con la cultura y con los contextos y que fortalezcan la autonomía y la construcción de subjetividades en nuestras sociedades.



9 789588 650227