

Atendiendo a la historia y la filosofía de la química en la conceptualización y desarrollo del currículo

Considering the history and philosophy of chemistry in the conceptualization and development of the curriculum

Vicente Talanquer / Department of Chemistry and Biochemistry, University of Arizona, Tucson AZ, 85745 US



resumen

Las investigaciones históricas y filosóficas sobre las formas de conocer, pensar y hacer en química invitan a la reflexión sobre cómo diseñar ambientes y experiencias de aprendizaje que representen de manera más auténtica y productiva a la disciplina. De manera específica, en esta contribución se describe y discute la influencia de este tipo de análisis en la conceptualización y desarrollo de un currículo de química alternativo. Se consideran los efectos de la reflexión histórico-filosófica sobre decisiones relativas a cómo se enmarcan los conocimientos, habilidades y actitudes deseadas, qué prácticas disciplinarias se trabajan y qué formas de razonar se desarrollan.

palabras clave

Currículo, naturaleza de la química, pensamiento químico, prácticas disciplinarias.

abstract

Historical and philosophical studies on ways of knowing, thinking, and acting in chemistry invite reflection on how to design learning environments and experiences that represent the discipline in more authentic and productive ways. In particular, this contribution describes and discusses the influence of this type of analysis on the conceptualization and development of an alternative chemistry curriculum. We characterize the effects of the historical-philosophical reflection on decisions related to how targeted knowledge, skills and attitudes are framed, and what disciplinary practices and ways of reasoning are developed.

keywords

Chemical thought, curriculum, disciplinary practices, nature of chemistry.

Introducción

Diversos autores han identificado diferentes maneras en las que el análisis de investigaciones sobre la historia y la filosofía de la química puede beneficiar la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina (Erduran & Mugaoglu, 2014). Por ejemplo, estos estudios ayudan a identificar los propósitos y valores de la empresa química, así como sus prácti-

cas, métodos y conocimientos centrales (Erduran & Kaya, 2019). Nos permiten reconocer cómo se construyen y aplican tales elementos epistémicos en diferentes contextos y con diversos propósitos. Nos guían en la selección de casos cuyo análisis puede facilitar la comprensión de ideas y modelos químicos fundamentales (Izquierdo-Aymerich, 2013). También nos dirigen en la

evaluación de los beneficios, costes y riesgos personales, sociales, económicos y ambientales de la actividad química, y en la utilización de sus productos y procesos (Bensaude-Vincent & Simon, 2008).

Como educador e investigador del aprendizaje y la enseñanza de la química, los trabajos históricos y filosóficos sobre la naturaleza de la disciplina y del pensamiento

químico han guiado y enmarcado varias de mis investigaciones. Estas incluyen estudios sobre las dificultades de los estudiantes para comprender las propiedades emergentes de las sustancias químicas (Talanquer, 2008) o sobre esquemas cognitivos que guían el razonamiento de los estudiantes y tienen paralelismos con concepciones históricas sobre la naturaleza y el comportamiento de la materia (Talanquer, 2006). También me han abierto los ojos a formas características de explicar y razonar en la disciplina (Talanquer, 2018), y han guiado el desarrollo de un currículo alternativo para la enseñanza de la química a niveles introductorios (Talanquer & Pollard, 2010; 2021). Es este último proyecto en el que se centra esta contribución en la que se describe y discute cómo los análisis históricos y filosóficos de los propósitos centrales del quehacer y pensar en química pueden guiar la conceptualización y el desarrollo curricular.

La química como tecnociencia

Nuestras concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en general, y de la química en particular, están fuertemente influenciadas por análisis históricos y filosóficos de la actividad científica en el área de la física. Los propósitos, valores, prácticas y métodos de esta disciplina se han asumido como característicos de la ciencia en general y las grandes revoluciones científicas asociadas con los trabajos de físicos renombrados como Galileo, Newton o Einstein se han caracterizado como paradigmas en el desarrollo del pensamiento científico. Aunque esta visión de la naturaleza de la ciencia ha sido cuestionada por diversos autores, quienes resaltan la diversidad de metas y prácticas epistémicas en distintas áreas (Hoffmann, 2007), sigue siendo la perspectiva

dominante en estándares educativos que guían el desarrollo de currículos de ciencias en todo el mundo (NRC, 2007; OECD, 2018).

La química ciertamente comparte metas y métodos de trabajo característicos de la física. Sin embargo, trabajos históricos y filosóficos sobre el desarrollo y la naturaleza de la actividad química revelan diferencias importantes entre estas dos disciplinas. Como los físicos, los químicos están interesados en comprender y explicar las propiedades y comportamientos de los sistemas de su interés. Con este objetivo, implementan prácticas y métodos comunes, tales como realizar observaciones y mediciones, analizar e interpretar datos, así como integrar conocimientos teóricos y evidencias experimentales para generar y aplicar modelos en la construcción de argumentos y explicaciones. Sin embargo, los químicos a lo largo de la historia también han estado interesados en utilizar sus conocimientos para controlar las transformaciones del mundo material con propósitos prácticos, tales como sintetizar nuevas sustancias y acelerar o retardar cambios físicos y químicos de materiales de interés (Bensaude-Vincent & Simon, 2008).

Se puede argumentar que los conocimientos y métodos de la física también tienen múltiples aplicaciones prácticas. La diferencia fundamental es que de manera tradicional las aplicaciones de la física se consideran el campo de interés y acción de otros profesionales: los ingenieros. En el caso de la química, los intereses epistémicos combinan de manera inseparable tanto la comprensión del mundo como su transformación y control con fines prácticos. Desde esta perspectiva, es más apropiado caracterizar a esta disciplina como una tecnociencia en la que se integran diversas

formas de conocer el mundo e interactuar con él: a) la clasificación de sustancias con base en propiedades y el razonamiento basado en casos para resolver problemas; b) el análisis y caracterización de los componentes elementales de los sistemas y la racionalización de su comportamiento por medio de modelos mecánicos, y c) la manipulación de tales componentes para crear nuevos sistemas con propiedades emergentes (Bensaude-Vincent, 2013; Chamizo, 2013).

La caracterización de la química como una tecnociencia no solo revela el carácter híbrido de las formas de conocer, pensar y hacer en la disciplina sino que también hace explícitos los posibles impactos económicos, sociales, políticos y ambientales de la actividad química. La transformación y diversificación artificial del mundo material facilitado por la química ha abierto múltiples oportunidades para el desarrollo humano, pero también ha creado problemas complejos que hoy día amenazan la subsistencia planetaria. Como ninguna otra ciencia natural, el quehacer y uso de la química vienen acompañados de beneficios, costes y riesgos que no deben ser ignorados. El análisis histórico-filosófico del rol de la química en el desarrollo de las sociedades humanas y su interacción con el medio ambiente sugiere que la adopción de una postura academicista y aséptica en la enseñanza de la disciplina es ética y moralmente irresponsable.

Cómo se enmarcan los conocimientos, habilidades y actitudes deseados

Tradicionalmente, la naturaleza tecnocientífica de la química no se ha representado de manera auténtica y significativa en los currículos escolares. Los cursos convencionales frecuentemente

presentan a la disciplina como un conjunto de conocimientos acabados organizados en forma de escalera temática: estructura atómica, enlace químico, estructura molecular, estequiometría de reacciones, termodinámica y cinética química. Este conocimiento normalmente se introduce desconectado tanto de su poder para darle sentido a propiedades y comportamientos de sistemas de interés, como de su utilidad para transformar y controlar el mundo material con fines prácticos (Talanquer, 2013). Los conceptos e ideas centrales de la disciplina se comunican y aprenden como si tuvieran valor intrínseco en la formación de los estudiantes, y por tanto lo que se evalúa es la capacidad de los alumnos para reproducirlos y no para aplicarlos de manera funcional y productiva en contextos de relevancia para ellos y las sociedades en las que viven.

Dada la gran distancia entre la representación de la química en el currículo escolar tradicional y la caracterización de la disciplina surgida de análisis históricos y filosóficos, hace algunos años nos dimos a la tarea de desarrollar e implementar un currículo alternativo más alineado con las formas de conocer, pensar y hacer en la disciplina (Talanquer & Pollard, 2010; 2021). Para lograrlo, abandonamos la organización por temas convencionales y en su lugar decidimos utilizar preguntas esenciales que el conocimiento, el razonamiento y la actividad química ayudan a responder. Esta decisión se basó en el convencimiento de que los objetos de aprendizaje debían servir para dar respuesta a preguntas de interés en contextos de relevancia para los alumnos. Además, consideramos que la motivación y el aprendizaje de los estudiantes se favorecerían a través de actividades centradas en la búsqueda de respuestas y no en su mera reproducción.

La investigación y reflexión histórica y filosófica sobre la química ha hecho explícitas metas y valores centrales en la disciplina que apuntan a las preguntas esenciales que motivan y guían el trabajo en esta área (Sevian & Talanquer, 2014). Reconocemos, por ejemplo, que el pensamiento químico ayuda a responder preguntas sobre: la identidad de las sustancias (¿De qué están hechas?), las propiedades que las caracterizan (¿Qué las distingue?), los factores composicionales y estructurales que determinan las propiedades de los materiales (¿Qué determina sus propiedades?), las causas y mecanismos de la transformación de los materiales (¿Por qué y cómo cambian?), las variables que afectan los productos y la rapidez y extensión de los cambios químicos (¿Cómo se controlan?) y los efectos de estos cambios en los alrededores (¿Cuáles son los beneficios, costes y riesgos?). En nuestra propuesta curricular, estas preguntas esenciales guían el trabajo en el aula a través del análisis de situaciones, problemas o fenómenos concretos en escenarios diversos los cuales sirven de ancla para la exploración, la introducción, el análisis y la discusión de conceptos, ideas, prácticas y formas de razonar centrales en la disciplina. Por ejemplo, los saberes, pensares y haceres que nos ayudan a dar respuesta a preguntas sobre de qué están hechas las cosas y cómo diferenciamos sustancias pueden desarrollarse a través del análisis de componentes del aire que respiramos, contaminantes en el agua que bebemos o nutrientes en los alimentos que consumimos.

Qué prácticas disciplinarias se trabajan

Los químicos utilizan una diversidad de prácticas disciplinarias para dar respuesta a preguntas de interés en diversos contextos.

Varias de estas prácticas coinciden con las prácticas científicas generales identificadas en estándares educativos actuales para la enseñanza de las ciencias en distintos países del mundo (NRC, 2007; OECD, 2018): hacer preguntas, planear e implementar investigaciones, analizar e interpretar datos, desarrollar y utilizar modelos, construir argumentos con base en evidencias, generar explicaciones y comunicar resultados. Las reformas educativas guiadas por estos estándares enfatizan la importancia de involucrar a los estudiantes en la comprensión y aplicación activa de estas prácticas epistémicas para dar sentido a fenómenos de interés, no sólo con el fin de desarrollar conocimientos científicos sino también con el objetivo de que los estudiantes entiendan cómo se genera dicho conocimiento.

Sin embargo, análisis históricos y filosóficos sugieren que la actividad química también involucra prácticas similares a las utilizadas en ingeniería, tales como la identificación de necesidades o problemas, la caracterización de criterios y restricciones, el diseño y prueba de soluciones y la evaluación de alternativas (Bensaude-Vincent, 2013; Chamizo, 2013). Desafortunadamente, este segundo grupo de prácticas toma un segundo plano en la enseñanza de las ciencias donde predominantemente se resaltan las metas «explicativas» e «investigativas» de las disciplinas y por tanto se enfatiza la utilidad del conocimiento y las prácticas científicas para darle sentido a propiedades y comportamientos de sistemas de interés. Se promueve que los estudiantes construyan argumentos con base en evidencias y generen explicaciones utilizando modelos con el objetivo principal de entender cómo y por qué suceden diversos fenómenos.

Sin demeritar la importancia de involucrar activamente a los estudiantes en tareas con fines explicativos e investigativos, nuestro currículo de química alternativo busca encontrar un balance entre este tipo de actividades y tareas que demandan la aplicación de conocimientos, prácticas y formas de razonar en la disciplina para identificar problemas de relevancia, diseñar o seleccionar soluciones potenciales, evaluar los beneficios, costes y riesgos (individuales, sociales, económicos, ambientales) de diferentes opciones, y tomar decisiones justificadas. La combinación de estos diferentes tipos de actividades representa de manera más auténtica la actividad química y crea oportunidades para que los estudiantes apliquen diversas formas de pensar, hacer y actuar en la disciplina no solo con el fin de entender cómo se investiga el mundo para explicarlo, sino también cómo se diseñan, prueban y evalúan distintas soluciones a problemas complejos y cómo se toman decisiones informadas.

Qué formas de razonar se desarrollan

El énfasis en el poder explicativo del conocimiento científico en los estándares educativos actuales también tiene consecuencias en las formas de razonamiento que se promueven. Dado el poder y la productividad del pensamiento analítico en ciencias, hoy día se valora que los estudiantes construyan explicaciones mecanísticas haciendo uso de modelos. En estas actividades se busca que los estudiantes reconozcan los componentes relevantes de un sistema, que caractericen sus propiedades e interacciones, y que utilicen estos conocimientos para construir historias causales que expliquen cómo y por qué emergen las propiedades o el comportamiento

del sistema (Krist, Schwarz & Reiser, 2018).

La capacidad de construir explicaciones mecanísticas es de gran importancia en química, pero, de nuevo, los estudios en historia y filosofía de la química sugieren que otras formas de razonar son también productivas en la disciplina. Por ejemplo, el razonamiento basado en casos se utiliza frecuentemente en química sintética para identificar el tipo de reactivos y reacciones químicas que favorecen la formación del producto deseado (Kovac, 2002). Esta forma de pensar se basa en el uso de poderosos sistemas de clasificación que encapsulan información sobre las propiedades de diversas clases de sustancias y los efectos de diferentes tipos de procesos (Schummer, 1998). Un currículo de química más auténtico debe crear oportunidades para que los estudiantes reconozcan y apliquen este tipo de razonamiento en la solución de problemas relevantes (por ejemplo, sintetizar un material con propiedades especificadas).

Dada la complejidad de los problemas planetarios que hoy día enfrentamos, muchos de ellos con un origen y posibles soluciones de naturaleza química, es también importante que los estudiantes desarrollen formas de pensar sistémicas (Orgill, York & MacKellar, 2019). Este tipo de razonamiento demanda el reconocimiento de propiedades que emergen de la interacción entre partes, pero no son características de los componentes individuales. Es un pensamiento sintético y holístico que busca entender el comportamiento de un sistema y controlarlo a través del estudio simultáneo de la totalidad y las interacciones dinámicas entre sus partes. Es una forma de razonar que no solo considera el subsistema químico de interés sino también sus

interconexiones con los subsistemas sociales, económicos y ambientales de los que forma parte. Estudios históricos muestran claramente los peligros de desconectar la actividad y el pensamiento químicos de sus consecuencias a distintos niveles y escalas (Bensaude-Vincent & Simon, 2008). Es por ello que en nuestra propuesta curricular se busca embeber la comprensión de fenómenos químicos a través del estudio de sistemas complejos que los afectan y a los cuales influyen (por ejemplo, aprender sobre equilibrios ácido-base a través del estudio de la interacción entre sistemas humanos, atmosféricos y marinos que afectan la formación de conchas calcáreas en moluscos).

Comentarios finales

Este ensayo busca ilustrar cómo análisis históricos y filosóficos sobre las formas de conocer, pensar y actuar en química pueden servir de guía para construir currículos que de manera más auténtica representen las metas y valores, las prácticas, las formas de razonar y la utilidad de aprender la disciplina. Estos estudios hacen explícitas características distintivas de la química y ayudan a evaluar en qué medida los currículos tradicionales o dominantes deben ser modificados o enriquecidos para crear oportunidades de aprendizaje más significativas. Por lo menos en los Estados Unidos, los estándares educativos actuales para la enseñanza de las ciencias enfatizan las metas explicativas, las prácticas investigativas y el razonamiento mecanístico. Este sesgo debe ser reconocido pues da lugar a una representación parcial de los intereses, saberes, pensares, haceres, alcances e impactos de la química.

La tragedia humana provocada por la propagación del virus

COVID-19 en este último año y las diversas actitudes, decisiones y acciones tomadas por distintas personas ante la pandemia resaltan la urgencia de reflexionar sobre la enseñanza de las ciencias desde las perspectivas histórica, filosófica y humanista. Está claro que la enseñanza tradicional no está preparando a individuos con la capacidad no sólo de entender cómo se transmite una infección o cómo se previene o controla, sino también de interpretar datos, sopesar evidencias, evaluar alternativas y tomar decisiones informadas. Individuos que puedan pensar sistémicamente y reconocer que las decisiones y acciones personales tienen consecuencias sociales, políticas y ambientales que no necesariamente se manifiestan localmente o de inmediato. La naturaleza de la química la hace una candidata ideal para desarrollar los conocimientos, prácticas y formas de razonar que el mundo complejo en el que vivimos demanda. Pero para lograrlo debemos escuchar a la voz de la historia y la filosofía e implementar sin demora los cambios necesarios.

Referencias

- BENSAUDE-VINCENT, B.; SIMON, J. (2008). *Chemistry. The impure science*. Londres: Imperial College.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2013). «Chemistry as a technoscience?». En: LLORED, J. P. (ed.). *The philosophy of chemistry: Practices, methodologies and concepts*. Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholars Publishing, p. 330-341.
- CHAMIZO, J. A. (2013). «Technochemistry: one of the chemists' ways of knowing». *Foundations of Chemistry*, n.º 15, p. 157-170.
- ERDURAN, S.; KAYA, E. (2019). «Defining the epistemic core of chemistry». En: ERDURAN, S.; KAYA, E. *Transforming teacher education through the epistemic core of chemistry*. Suiza: Springer, p. 25-48.
- ERDURAN, S.; MUGALOGLU, E. Z. (2014). «Philosophy of chemistry in chemical education: recent trends and future directions». En: MATTHEWS, M. R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy, and science teaching*. Suiza: Springer, p. 287-315.
- HOFFMANN, R. (2007). «What might philosophy of science look like if chemists built it?». *Synthese*, n.º 155, p. 321-336.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2013). «School chemistry: an historical and philosophical approach». *Science & Education*, n.º 22, p. 1633-1653.
- KOVAC, J. (2002). «Theoretical and practical reasoning in chemistry». *Foundations of Chemistry*, n.º 4, p. 163-171.
- KRIST, C.; SCHWARZ, C. V.; REISER, J. B. (2018). «Identifying essential epistemic heuristics for guiding mechanistic reasoning in science learning». *Journal of the Learning Sciences*, n.º 28, p. 160-205.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2007). *Taking science to school: learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- OECD (2018). «PISA for development science framework». En: *PISA for development assessment and analytical framework: reading, mathematics and science*. París: OECD Publishing.
- ORGILL, M.; YORK, S.; MACKELLAR, J. (2019). «Introduction to systems thinking for the chemistry education community». *Journal of Chemical Education*, n.º 96, p. 2720-2729.
- SCHUMMER, J. (1998). «The chemical core of chemistry: A conceptual approach». *HYLE*, vol. 4, n.º 2, p. 129-162.
- SEVIAN, H.; TALANQUER, V. (2014). «Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking». *Chemistry Education Research and Practice*, n.º 15, p. 10-23.
- TALANQUER, V. (2006). «Common sense chemistry: a model for understanding students' alternative conceptions». *Journal of Chemical Education*, vol. 83, n.º 5, p. 811-816.
- (2008). «Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: Additive versus emergent frameworks». *Science Education*, n.º 92, p. 96-114.
- (2013). «School chemistry: the need for transgression». *Science & Education*, n.º 22, p. 1757-1773.
- (2018). «Chemical rationales: another triplet for chemical thinking». *International Journal of Science Education*, n.º 40, p. 1-17.
- TALANQUER, V.; POLLARD, J. (2010). «Let's teach how we think instead of what we know». *Chemistry Education Research and Practice*, n.º 11, p. 74-83.
- (2021). *Chemical thinking* [recurso electrónico]. <<https://sites.google.com/site/chemicalthinking/>> [Consulta: junio 2018].



Vicente Talanquer

Profesor en la Universidad de Arizona. Autor o coautor de más de diez libros de primaria y secundaria y de más de cien artículos arbitrados de investigación en educación química y pensamiento docente. Su trabajo se centra en el estudio de las formas de razonamiento de los estudiantes y de los profesores de química.
C. e.: vicente@arizona.edu