Educación Química (2017) **28**, 147–153

educación Química

www.educacionquimica.info

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

Temas de química cuántica: análisis de su presentación en libros de texto de química general

Silvia Ramírez*, **Ana Fleisner y Liliana Viera**

Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Buenos Aires, Argentina

Recibido el 1 de noviembre de 2016; aceptado el 7 de marzo de 2017
Disponible en Internet el 12 de abril de 2017

PALABRAS CLAVE
Química cuántica;
Libros de texto;
Meta-disciplinas;
Carreras científico tecnológicas

Resumen Los estudiantes universitarios muestran serias dificultades en el aprendizaje de la química. Desde la investigación en enseñanza de las ciencias, se considera que esta problemática es multicausal. Nos centraremos en una de las posibles causas intrínsecamente disciplinar. Entre los primeros temas abordados en cursos básicos de química de carreras científico-tecnológicas, se encuentran algunos de química cuántica. Cuando el estudiante aborda por primera vez estos, solo conoce contenidos clásicos de física y química. Si bien muchos de los términos que se utilizan en ambos contextos son los mismos, el «mundo» y los «objetos» a los que se hace alusión en física clásica no parecen ser los mismos que aquellos que se citan en química. Al hecho de que parecería que la química cuántica depende de los modelos físicos disponibles acerca del mundo, se le suma la complicación de utilizar conceptos clásicos de la física en un contexto en el que ya no parecen tener el mismo significado. En este trabajo se analizó el modo en el que los libros de texto de química general introducen los contenidos de química cuántica. Hemos considerado 4 aspectos: la elección epistemológica, la perspectiva de abordaje, el uso de la historia y la filosofía de la ciencia, y la contextualización de las relaciones entre conceptos clásicos y cuánticos. Concluimos que los modos de presentación en los textos no contribuyen a una mejor comprensión de los conceptos de la disciplina ni de la manera en la que se desarrolla el conocimiento científico.
© 2017 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

KEYWORDS
Quantum chemistry;
Textbooks;
Meta-disciplines;
Scientific and technological careers

Topics of quantum chemistry: analysis of its presentation in general chemistry text books

Abstract College students show serious difficulties in learning chemistry. From research in science teaching, this problem is considered to be multicausal. We will focus on one of the possible intrinsically disciplinary causes. Among the first issues addressed in basic chemistry courses of scientific/technological careers are those corresponding to quantum chemistry. When

* Autor para correspondencia.
Correos electrónicos: sramirez2007@gmail.com, sramirez@unq.edu.ar (S. Ramírez).
La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2017.03.002
0187-893X/© 2017 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

the student approaches for the first time these subjects only knows classic contents of physics and chemistry. While many of the terms used in both contexts are the same, the 'world' and 'objects' referred to in classical physics not seem to be the same that those that is cited in chemistry. The fact that it would seem that the quantum chemistry depends on physical models available of the world, it adds the complication of using classical physics concepts in a context in which they no longer seem to have the same meaning. In this paper we analyze the way in which general chemistry textbook introduced the contents of quantum chemistry. Four aspects are considered: epistemologic choice, perspective of approach, use of the history and philosophy of science, and contextualisation of relations between quantum and classical concepts. We conclude that the modes of presentation in the texts do not contribute to a better understanding of the concepts of the discipline, nor of the mode in which the scientific knowledge is developed.
© 2017 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Introducción

Desde hace muchos años se vienen realizando investigaciones sobre objetivos, contenidos y metodologías para mejorar la enseñanza de la química tanto en el nivel medio como en el superior (terciario y universitario). En el nivel superior, se ha observado que tanto los docentes como los libros de texto de química general no reflejan los cambios sugeridos por la investigación para facilitar la comprensión conceptual. Para cumplir este objetivo sería necesario reconstruir los contenidos de la asignatura que se pretende enseñar teniendo en cuenta las estructuras conceptuales y metodológicas de cada teoría y sus características epistemológicas propias (Niaz, 2005).

Entre los primeros contenidos de química, con los que se encuentran los estudiantes de ciertas carreras científico-tecnológicas, están los correspondientes a la teoría atómica y molecular de la materia, las propiedades de los elementos y las uniones químicas. Cuando se abordan por primera vez estos temas solo se han estudiado previamente los contenidos de mecánica clásica en física. Si bien muchos de los términos que se utilizan en ambos contextos son los mismos, el «mundo» y los «objetos» a los que se hace alusión en física clásica no parecen ser los mismos que aquellos que se citan en química.

Resulta importante la revisión de los textos con los que se enseñan los temas de química mencionados, no solo por el modo en el que se presentan, sino por cómo se los vincula con las teorías clásicas previas y con las teorías más actuales. Sostenemos, en concordancia con Urrego Manco y Zapata Hincapié (2014, p. 9), que «La teoría atómica es el pilar del conocimiento actual de la química. La comprensión de los paradigmas actuales depende en gran medida de la ruta que se tome para su construcción y de la rigurosidad con la que se aborden los modelos predecesores». El surgimiento de la mecánica cuántica supuso una revolución científica que marcó diferencias sustanciales entre la física actual y la de finales del siglo XIX. Sin embargo, las ideas de la química estructural son hoy en día básicamente iguales a las que se propusieron a finales de ese siglo. Al hecho de que a la química cuántica se la suele presentar como desprovista de un referente ontológico autónomo y dependiente de los modelos físicos del mundo disponible, se le suma la complicación de utilizar conceptos clásicos de la física en un contexto en el que ya no parecen tener el mismo significado. «Para muchos estudiantes, el aprendizaje del modelo atómico mecánico cuántico presenta dificultades que resultan de las grandes diferencias entre las perspectivas de la mecánica cuántica y de la física clásica» (Budde, Niedderer, Scott, y Leach, 2002, p. 197, citado en Patiño Vasco y Vallejo Urán, 2011). Es importante señalar que no tenemos acceso a la realidad independiente de un modelo: es el modelo construido en términos de los conceptos de una teoría, que recorta una ontología de la realidad en sí misma. «La mayoría de las teorías de la ciencia suponen que cualquier relación representacional entre la teoría y la realidad ha de entenderse como una 'correspondencia' entre los enunciados científicos y el mundo. El destino de cualquier concepción de las teorías como algo que representa la realidad ha sido asociado, de esta forma, con los destinos de la teoría de la correspondencia de la verdad. Es en este punto donde se entabla generalmente la batalla [...]. En nuestra explicación no existe relación directa entre los conjuntos de enunciados y el mundo real. La relación es indirecta por intermediación de un modelo teórico» (Giere, 1992, p. 106). La construcción de modelos es una actividad central en la práctica científica de la química. Tal como sostiene Erduran (2001), el papel de los modelos en química está siendo reemplazado por la aplicación de la mecánica cuántica, al ser considerada como la teoría fundamental de la naturaleza. Este enfoque en la enseñanza ignora que en la educación en química es importante enfatizar los aspectos cualitativos de los procesos químicos.

El aprendizaje de conocimientos científicos por parte de los estudiantes está influenciado por varios factores, dentro de los cuales adquieren importancia la formación de los docentes, la manera en que el docente enseña y la influencia de la información acerca de los contenidos, en particular la presentada en los libros de texto.

Muchos investigadores en enseñanza de la ciencia sostienen que la reflexión epistemológica es un componente indispensable en la formación científica y del profesorado de ciencias naturales y que cuando la información acerca de los contenidos tiene escasa vinculación con la epistemología y la historia, aumentan las dificultades en el aprendizaje de la misma (Matthews, 1994; Duschl, 1997;

McComas, 1998; Flick y Lederman, 2004; Adúriz-Bravo, 2005; Niaz, 2005). Esto influye tanto en la formación del docente, que tendrá que explicar los contenidos de la «nueva química» —transformando el «saber científico» en «saber para enseñar», de acuerdo con lo que Chevallard (1991) denominó «transposición didáctica»— como en el aprendizaje por parte del alumno (Capuano et al., 2007; Solbes y Traver, 2001).

Numerosos trabajos (Martín, 2006; Chamizo, 2009; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011) sostienen que la filosofía de la química es un recurso esencial para la educación química, ya que contribuye a una mejor comprensión de su naturaleza y lugar en el contexto de las ciencias naturales.

De acuerdo con Castrillón, Freire Jr. y Rodríguez (2014), en las distintas propuestas de enseñanza de la mecánica cuántica es posible reconocer 4 rasgos vinculados entre sí: la elección epistemológica, la perspectiva de acercamiento, el uso de la historia y filosofía de la ciencia, y la contextualización. Dado que la enseñanza de las ciencias está relacionada con las concepciones epistemológicas, pedagógicas y didácticas que ha elaborado el docente y los textos responden a las concepciones de sus autores sobre la enseñanza, la ciencia y la actividad científica, esta caracterización es aplicable al análisis de la presentación de la química cuántica en los libros de texto.

El modo en el que se presenta la mecánica cuántica (elección epistemológica y perspectiva para abordarla) en un libro de texto debería servir, simultáneamente, para comprender, predecir y explicar fenómenos cuánticos y para plantear y resolver problemas de dicho dominio. Debería quedar bien diferenciada la teoría (en tanto constructo conceptual) del formalismo matemático a través del cual se manipulan las asignaciones de valores a los conceptos. Para que se comprenda el dominio de una teoría es importante hacer una presentación contextualizada. «Los significados de los conceptos cuánticos pueden no ser percibidos por los alumnos debido a la gran influencia de los significados de los conceptos clásicos ya arraigados en su estructura cognitiva, los que actúan como obstáculos representacionales mentales» (Moreira y Greca, 2004, p. 1). Cabe señalar que la contextualización debe hacerse con cuidado, evitando analogías que mezclen conocimientos clásicos y precuánticos con conocimientos cuánticos y que provoquen caos conceptual (Cardoso, 2001). Por ello, además de valerse de la historia y de la filosofía de las ciencias, es necesario atender tanto a las relaciones que existen entre los conceptos de la nueva teoría y las teorías previas como del contexto de surgimiento de la nueva teoría (Badillo, Royman Pérez, Uribe Beltrán, Cuéllar Fernández y Amador Rodríguez, 2004).

La enseñanza de la química cuántica necesita una didáctica que se ajuste a las singularidades de su problemática, que tenga en cuenta las estructuras conceptuales y metodológicas y sus características epistemológicas propias.

En este trabajo se analiza el modo de presentación de la química cuántica en libros de texto utilizados en los cursos de química general y se evalúa cómo puede influir en la comprensión de los conceptos y del modo en el que se desarrolla el conocimiento científico.

Metodología

Se analizó el modo de presentación de la química cuántica en algunos de los libros de texto utilizados en los cursos de química general: McMurry. (2009). *Quimica general*. 5.ª ed.; Chang. (2007). *Química*. 9.ª ed.; Brown. (2015). *Chemistry*. 13.ª ed.; Whitten. (2009). *Química*. 8.ª ed.; Petrucci. (2011). *Química general*. 10.ª ed., y Atkins. (2012). *Principios de química*. 5.ª ed. El análisis se realizó a la luz de los rasgos señalados por Castrillón et al. (2014): la elección epistemológica o interpretación que se da de la teoría, la perspectiva para abordarla, el uso de la historia y filosofía de la ciencia para contextualizarla y la contextualización (es decir, las relaciones que se establecen entre conceptos clásicos y cuánticos). Para una mejor interpretación y comparación del análisis, se hizo una adaptación de la categorización utilizada en Castrillón et al. (2014) estableciendo categorías para cada uno de los rasgos (fig. 1).

Respecto de la elección epistemológica, separamos los libros de texto de acuerdo con si presentan la teoría cuántica como un corpus de conocimiento sobre el mundo real, o como una herramienta útil para explicar, calcular y predecir.

En cuanto a la perspectiva de acercamiento, analizamos si establecen diferencias o no entre el significado físico/químico y la representación formal de los conceptos involucrados (estructuras matemáticas).

En relación con el uso de la historia y la filosofía de las ciencias, clasificamos los textos de acuerdo con si mencionan o no las fallas de las teorías anteriores o problemas que quedan sin resolverse en el marco anterior como punto de partida para una nueva teoría; y si diferencian o no conceptos fundamentales de la filosofía de las ciencias como modelos y teorías.

Respecto de la contextualización, clasificamos los textos en función de si establecen o no un vínculo entre los términos utilizados por las teorías clásicas y la cuántica a través de principios físicos; si se vincula el mundo clásico con el cuántico a través de analogías burdas, y si se explica o no el alcance del uso de la probabilidad.

Resultados y análisis

En la figura 2 se consignan los resultados del análisis realizado en los libros estudiados.

En la mayoría de los libros estudiados se considera que la teoría cuántica es un corpus de conocimiento sobre el mundo real, excepto en el de Whitten, para el que esta teoría es una herramienta útil para explicar, calcular y predecir.

En cuanto a la perspectiva de abordaje, McMurry, Chang y Whitten confunden el contenido conceptual de la teoría con la estructura formal como herramienta de cálculo, mientras que Brown, Petrucci y Atkins diferencian significado físico/químico de la representación formal de los conceptos involucrados.

Todos los textos usan la historia pero no la filosofía de las ciencias: se mencionan las fallas de las teorías anteriores o los problemas que quedan sin resolver como punto de partida para una nueva teoría pero, en general, no se diferencian conceptos fundamentales de la filosofía de las ciencias como *modelos* y *teorías*.

Rasgo	Categoría
Elección epistemológica	Corpus de conocimiento sobre el mundo real: Teoría
	Herramienta útil para explicar, predecir y calcular: Herramienta de cálculo
Perspectiva de abordaje	Se diferencia o no significado físico/químico de la representación formal de los conceptos: Diferencia significado f/q o No diferencia significado f/q
Uso de la historia y la filosofía de las ciencias	Se mencionan o no las fallas de las teorías anteriores como punto de partida para una nueva teoría: Usa HC o No usa HC
	Se diferencian o no conceptos fundamentales de la filosofía de las ciencias: usa FC o No usa FC
Contextualización	Se establece o no el vínculo entre los términos utilizados por las teorías clásica (C) y la cuántica (Q): Vincula C y Q o No Vincula C y Q
	Se vincula al mundo clásico con el cuántico mediante analogías: A
	Se explica o no el alcance del uso de la probabilidad: Explica P o No Explica P

Figura 1 Categorías asignadas a los diferentes rasgos.

Al estudiar el modo en el que se establece la relación entre los esquemas conceptuales de las teorías clásicas previas y la nueva teoría cuántica se encontró que Brown, Petrucci y Atkins establecen vínculos entre los términos utilizados por las teorías clásicas y la cuántica a través de principios físicos y McMurry, Chang y Whitten no. En McMurry y Brown se vincula el mundo clásico con el cuántico a través de analogías burdas.

Los autores Chang, Brown y Petrucci explican el alcance del uso de la probabilidad y en los restantes se la menciona sin explicitar los supuestos que ella involucra respecto de la naturaleza de los fenómenos que se están describiendo.

Para una mejor interpretación del modo en el que se clasificaron los textos, presentamos a continuación algunos ejemplos.

En el de Brown se interpreta la mecánica cuántica como un nuevo enfoque (teoría) que cambió nuestra concepción sobre la naturaleza de la luz, para tratar con las partículas subatómicas: «[...] la ecuación de onda de Schrödinger incorpora tanto el comportamiento ondulatorio como el de partícula del electrón. Su trabajo representó un nuevo enfoque con las partículas subatómicas» (Brown, LeMay, Bursten, Murphy y Woodward, 2014, p. 219). Esta elección epistemológica en la presentación de la mecánica cuántica es coherente con la perspectiva de abordaje que propone el texto. Se presenta la teoría cuántica como la teoría actual más adecuada para describir los arreglos de los electrones en los átomos: «La aplicación de la ecuación de Schrödinger requiere cálculos avanzados, por lo que no nos ocuparemos de los detalles. Sin embargo, consideraremos de manera cualitativa los resultados obtenidos por Schrödinger, ya que nos ofrecen una forma nueva y poderosa de *visualizar* la estructura electrónica» (Brown et al., 2014, p. 219).

Encontramos en otros libros incongruencias entre la elección epistemológica y la perspectiva de acercamiento. Se presenta la teoría como un corpus de conocimiento: «Los primeros intentos de los físicos del siglo XIX para comprender los átomos y las moléculas no fueron exitosos del todo [...] pasó mucho tiempo hasta que se descubriera que las propiedades de los átomos no son gobernadas

Libro	Elección epistemológica	Perspectiva de abordaje	Uso de la historia y filosofía de las ciencias	Contextualización
McMurry (2009)	Teoría	No diferencia significado f/q	Usa HC No usa FC	No Vincula C y Q A No Explica P
Chang (2007)	Teoría	No diferencia significado f/q	Usa HC No usa FC	No Vincula C y Q A Explica P
Brown (2015)	Teoría	Diferencia significado f/q	Usa HC No usa FC	Vincula C y Q A Explica P
Whitten (2009)	Herramienta de cálculo	No diferencia significado f/q	Usa HC No usa FC	No Vincula C y Q No Explica P
Petrucci (2011)	Teoría	Diferencia significado f/q	Usa HC No usa FC	Vincula C y Q Explica P
Atkins (2012)	Teoría	Diferencia significado f/q	Usa HC No usa FC	Vincula C y Q No Explica P

Figura 2 Resultados obtenidos por libro y categoría de análisis.

por las mismas leyes físicas que rigen a los objetos más grandes» (Chang y College, 2007, p. 246), pero se la utiliza como herramienta de cálculo y no se analiza de manera conceptual los resultados que se obtienen. «Con la ecuación de Schrödinger comenzó una nueva era en la física y la química, ya que dio inicio a un nuevo campo la mecánica cuántica (también conocida como mecánica ondulatoria)» (Chang y College, 2007, p. 264). En esta presentación se privilegia el resultado matemático sobre la interpretación física/química del mismo. Entendemos que si se presenta una teoría como un conocimiento acerca del *mundo real*, todo resultado obtenido a través de ella debe tener un correlato con dicho mundo, tener significado físico/químico y no ser simplemente el resultado de la aplicación de una ecuación.

Los libros analizados hacen referencia a las limitaciones de los modelos y teorías previos a la teoría cuántica como punto de partida para el desarrollo de la misma. Pero se centran en aquellas partes que han resultado, desde nuestra perspectiva actual, «exitosas», dejando de lado las controversias, las dificultades y las limitaciones que son inherentes a la formulación de modelos científicos. «[. . .] el tratamiento de Bohr es muy complejo y no se considera correcto en todos sus detalles. Por ello aquí solo se concentrará en los planteamientos importantes y en los resultados finales que explican la posición de las líneas espectrales» (Chang y College, 2007, p. 274). Se muestra, a través de este particular recorte histórico, una imagen acumulativa de la ciencia: la ciencia avanza acumulando éxitos y descartando aquello que no resulta «correcto», «adecuado».

Constatamos que se trasmite una visión deformada de la actividad científica: «Se requiere intuición para pensar como un químico; con intuición química es posible, cuando se observa un objeto cotidiano o una muestra de una sustancia química, imaginar los átomos que la componen. No basta con ella, también se debe tener la capacidad de zambullirse profundamente con la imaginación en el interior de la materia y descubrir la estructura interna de los átomos que la forman» (Atkins y Jones, 2012, p. 1). Este modo de pensar las supuestas capacidades especiales de los científicos puede desalentar al estudiante que, desde sus ideas y su contacto cotidiano con el mundo, no «ve» o «descubre» la estructura de la materia.

En la mayoría de los textos existe confusión entre los conceptos de modelo y teoría, se usa indistintamente un concepto u otro. Entendemos que esta falta de distinción puede confundir al estudiante en al menos 2 sentidos: 1) no le permite visualizar que con una misma teoría se puede modelizar de manera distinta su objeto de estudio, dependiendo de aquellos aspectos que le interese estudiar, y 2) puede confundir entre una teoría y un formalismo o mecánica de operación a partir de datos experimentales. Un ejemplo claro de confusión entre las nociones de modelo y teoría puede observarse en Whitten, Davis y Peck (2009, p. 167): «La *teoría atómica de Dalton* e ideas afines sentaron las bases de la estequiometría de composición y de la estequiometría de reacción; sin embargo este *modelo* atómico no da respuesta a muchas preguntas. . .». En Petrucci, Herring, Madura y Bissonnette (2011), si bien no se confunden las nociones de teoría y modelo (de hecho no se usa la noción de modelo), se utiliza la noción de «mecánica cuántica» en un sentido distinto del de «teoría cuántica». De esta manera se confunde la noción de *mecánica* con la de *teoría*.

La mayoría de los textos analizados hacen un uso poco riguroso de los términos técnicos que pretenden enseñar. El ejemplo más claro es el del uso sin distinción de los nombres «teoría cuántica», «mecánica cuántica», «mecánica ondulatoria» cuando no siempre se está haciendo referencia a la misma teoría. En el apartado «Teoría cuántica» de Petrucci et al. (2011, p. 303) se concluye: «La hipótesis cuántica solo adquirió el estatus de una nueva gran teoría científica [. . .] con la explicación cuántica de Albert Eisntein del efecto fotoeléctrico», mientras que en el apartado «Dos ideas que condujeron a la mecánica cuántica» analizan «[. . .] dos ideas claves que propiciaron una nueva aproximación a la mecánica cuántica» y prometen para la sección próxima un análisis de «la nueva mecánica cuántica, la mecánica ondulatoria» (Petrucci et al., 2011, p. 313). Estos autores no explicitan que están entendiendo por teoría cuántica la hipótesis de Planck, por mecánica cuántica la teoría de Bohr y por nueva mecánica cuántica o mecánica ondulatoria la ecuación de Schrödinger.

Se encuentran, de manera reiterada, explicaciones y conceptos presentados con un alto grado de imprecisión, lo que puede generar concepciones inadecuadas en los estudiantes. Aunque entendemos que el objetivo pueda ser la mera presentación de diversos conceptos, dejando para desarrollos posteriores la profundización de los mismos, creemos que esto debe dejarse claro. Creemos también que en ningún caso se deben utilizar términos en apariencia similares (para quien no es experto en el tema) pero que refieren a cuestiones distintas dependiendo del contexto.

Al hecho de no estar especificado el significado físico/químico de la mayoría de los resultados matemáticos obtenidos al resolver problemas, se suma la no explicitación de los vínculos entre conceptos clásicos y cuánticos. Se utilizan términos clásicos para referir entidades cuánticas, sin presentar el principio de incertidumbre de Heisenberg y la hipótesis de De Broglie como límites de validez de dichos conceptos. Hemos observado que, si bien se presentan los electrones como «partículas que se comportan cuánticamente», que no están localizadas y por tanto hay que hablar de «nubes» de electrones o de densidades de probabilidad de encontrarlos, simultáneamente se trata los núcleos como objetos perfectamente clásicos. Sin hacer mención de la aproximación que se está utilizando. Este tipo de incoherencia confunde a los estudiantes respecto de la naturaleza del comportamiento de las partículas.

Como ejemplo de uso errático del lenguaje utilizado encontramos el siguiente en McMurry y Fay (2009, p. 155): «Un rayo de baja intensidad de fotones de alta energía puede arrancar con facilidad algunos electrones de un metal, pero un rayo de alta intensidad de fotones de baja energía quizás no logre que se emita un solo electrón. Como analogía burda piense en que usted lanza pelotas de masa diferente a una ventana de vidrio. Mil pelotas de ping pong (baja energía) solo rebotarían en la ventana, pero una sola pelota de béisbol (alta energía) rompería el vidrio. Del mismo modo, los fotones de baja energía rebotan en la superficie metálica, pero un solo fotón de cierta energía umbral, o por arriba de esta, 'rompería' el metal y arrancaría un electrón».

Por otra parte, pocas veces se explica el alcance de la naturaleza probabilística de ψ^2: «La mejor forma de pensar en la función de onda de un electrón es recordarla como una expresión cuyo cuadrado, ψ^2, define la probabilidad de encontrar al electrón en una región del espacio alrededor del núcleo» (McMurry y Fay, 2009, p. 160). Este ejemplo, además, muestra la confusión entre el significado físico/químico de un concepto. En Brown se explica la energía y la posición de un electrón en términos de probabilidad y en Chang solo se la explica como surgida de la analogía con la teoría ondulatoria. También observamos el uso de analogías burdas en la presentación y explicación de algunos fenómenos que, aunque podrían facilitar la comprensión de algunos conceptos, pueden llevar a malas interpretaciones de otros. Un claro ejemplo es la explicación de la cuantización de la energía en Brown et al. (2014, pp. 210-211) y McMurry y Fay (2009, p. 156), que muestran un cambio cuantizado contra un cambio continuo de la energía a través de figuras en las que 2 personas suben una rampa y una escalera. Se pretende señalar que la primera persona sube continuamente mientras que la segunda lo hace de forma cuantizada. Esta analogía puede complicar la comprensión de los conceptos cuánticos de posición y trayectoria.

Conclusiones

En este trabajo se analizaron los modos de presentación de conceptos, modelos y teorías de química cuántica en los libros de texto de química general. El estudio de la estructura interna de la materia a nivel atómico y molecular no solo es importante en sí mismo, sino en tanto base para gran parte de las explicaciones en el contexto de la química.

Observamos que en los libros de texto utilizados en química general, a pesar de que el modelo atómico mecánico-cuántico viene siendo el que rige u orienta nuestro conocimiento actual sobre la estructura interna de la materia, su presentación no ha sido abordada satisfactoriamente. Muchas investigaciones —antiguas y actuales— en el área de la enseñanza muestran que existe una relación entre la posibilidad de lograr un cambio conceptual y metodológico en la enseñanza de la química y la solución que se encuentre al problema del tratamiento de los contenidos sobre la estructura de la materia en los libros de texto (Segura, 1991; Malaver, Pujol y d'Alessandro Martínez, 2007).

Entendemos que, más allá de estar o no de acuerdo con la elección epistemológica que el autor haga, debe existir una coherencia interna entre esta elección y la perspectiva de abordaje que propone. Asimismo, consideramos que sería importante incorporar en los textos el estudio histórico con el fin de que la ciencia y la actividad científica se presenten como un proceso de investigación, una empresa dinámica, y no como un conocimiento acabado o absoluto. En este sentido, es fundamental desarrollar una adecuada trasposición didáctica que ayude a superar las visiones erróneas de la actividad científica. Sostenemos que es fundamental un correcto empleo de los términos técnicos que se pretenden enseñar, y también que el uso de analogías y metáforas no necesariamente es beneficioso para la enseñanza de la química cuántica, de manera que su aportación depende estrechamente del modo en el que se utilicen.

Dado que los textos pueden inducir a la incomprensión de los conceptos de química cuántica, es el docente quien, en su rol de intermediario, debe seleccionar aquellos contenidos estructurantes que permitan al estudiante abordar problemas significativos, planteando situaciones que les posibiliten la reconstrucción permanente de sus estructuras conceptuales y metodológicas relacionadas con los conocimientos científicos. Para esto, en concordancia con Gallego Badillo et al. (2004), consideramos que los profesores deben acercarse de un modo crítico y reflexivo a los libros de texto teniendo en cuenta 3 elementos fundamentales en su trasposición didáctica: la interpretación de los textos originales sobre el tema, las concepciones epistemológicas, didácticas y pedagógicas del propio profesor y la intención curricular.

Financiación

Proyecto de Investigación UNQ: «Dificultades asociadas a la enseñanza y el aprendizaje de la química en cursos universitarios para no químicos». Financiado por la UNQ, Bernal, Buenos Aires Argentina.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Atkins, P. y Jones, L. (2012). *Principios de química. Los caminos del descubrimiento*. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana.

Brown, T., LeMay, H., Bursten, B., Murphy, C. y Woodward, P. (2014). *Química, la ciencia central*. México: Pearson Educación.

Capuano, V., Dima, G., Botta, I.L., Follari, B., de la Fuente, A. Gutiérrez, E. et al. (2007). Una experiencia de aula para la enseñanza del concepto de modelo atómico en 8° EGB. Revista Iberoamericana de Educación, 44(2), Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI) [consultado 7 Jul 2016]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2471767

Cardoso, J. (2001). La enseñanza de la estructura de los átomos y de las moléculas. *Tecné, episteme y didaxis: revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*, (9), 108–118.

Castrillón, J., Freire, O., Jr. y Rodríguez, B. (2014). Mecánica cuántica fundamental, una propuesta didáctica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *36*(1), 1–12.

Chamizo, J. A. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación Química*, *20*(1), 6–11.

Chang, R. y College, W. (2007). *Química*. México: McGraw-Hill.

Chevallard, Y. y Marie-Alberte, J. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, Francia: La Pensée Sauvage.

Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Nancea (edición original en inglés de 1990).

Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field whit implications for chemistry education. *Science & Education*, *10*, 581–593.

Flick, L., y Lederman, N. (Eds.). (2004). *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning and teacher education*. Dordrecht: Kluwer.

Gallego Badillo, R., Royman Pérez, M., Uribe Beltrán, M. V., Cuéllar Fernandez, L. y Amador Rodríguez, R. (2004). El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciência & Educação*, *10*(3), 571–583.

García-Carmona, A., Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2011). Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, *28*(3), 403–412.

Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Conacyt.

Malaver, M., Pujol, R. y d'Alessandro Martínez, A. (2007). La calidad científica del contenido sobre el tema de la estructura de la materia en textos universitarios de química general. *Enseñanza de las Ciencias*, *25*(2), 229–240.

Martín, L. (2006). La filosofía de la química y su impacto en la educación en química. *Educación en la Química*, *12*(2), 57–106.

Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Londres: Routledge.

McComas, W. (Ed.). (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.

McMurry, J. y Fay, R. (2009). *Quimica general*. México: Pearson Editorial.

Moreira, M. y Greca, I. (2004). Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos. En M. Moreira y I. Greca (Eds.), *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales* (pp. 1–16). Porto Alegre, Brasil: UFRGS.

Niaz, M. (2005). ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una retórica de conclusiones? *Educación Química*, *16*(3), 410–415.

Patiño Vasco, W. y Vallejo Urán, W.A. (2011). El Modelo atómico mecánico-cuántico: estrategias para su enseñanza y aprendizaje [Tesis de Licenciatura]. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Petrucci, R., Herring, F., Madura, J. y Bissonnette, C. (2011). *Química general. Principios y aplicaciones modernas*. Madrid, España: Prentice Hall Pearson.

Segura, D. (1991). Una premisa para el cambio conceptual: el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, *9*(2), 175–180.

Solbes, J. y Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, *19*(1), 151–162.

Urrego Manco, J. y Zapata Hincapié, L. (2014). Recontextualización de la estructura atómica mediante un análisis histórico y epistemológico de la perspectiva de Frederick Soddy [Tesis de Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental] [consultado 7 Jul 2016]. Disponible en: http://ayura.udea.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1503/1/JF0941.pdf

Whitten, K., Davis, R. y Peck, G. (2009). *Química*. México, DF, México: Cengage learning.