

ANÁLISIS DEL ENFOQUE DE HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA EN LIBROS DE TEXTO DE QUÍMICA: EL CASO DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA

HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE APPROACH ANALYSIS IN CHEMISTRY TEXTBOOKS: THE ATOMIC STRUCTURE CASE

Diana M. Farías

Manuel F. Molina

Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia. Grupo de Investigación en Enseñanza de la Química

Josep Castelló

Universidad de Barcelona. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y la Matemática

RESUMEN: Este trabajo analiza desde el enfoque de historia y filosofía de las ciencias (HFC) la forma como se presenta el tema de estructura atómica en cinco libros de texto (LT) de los cursos de química de primer año de la Universidad de Barcelona. En el análisis se aplicó un marco metodológico que exploró la posibilidad de emplear diferentes metodologías (heterogéneas entre sí) para lograr una explicación más acertada del tema de estudio. Los resultados mostraron que la mayoría de los textos presentan una imagen de la ciencia desconectada de otros contextos, incluido el científico, imagen caracterizada por descubrimientos aislados producto del trabajo de científicos individuales. Esta representación de la ciencia no revela lo que realmente es y la manera como se genera el conocimiento científico. Además, los libros de texto analizados enfatizan el trabajo experimental, pero no cubren los detalles teóricos y si lo hacen es someramente.

PALABRAS CLAVE: historia y filosofía de las ciencias (HFC), estructura atómica, libros de texto de ciencias.

ABSTRACT: History and Philosophy of Science approach (HPS) in atomic structure chapters was analyzed in five chemistry textbooks that are recommended in first year's courses the at University of Barcelona. A methodological framework composed by four heterogeneous methodologies was applied in this work trying to get a more accurate explanation about the topic studied. Results have shown that a wrong image of science, disconnected from other contexts, included the scientific one, is presented in the most of the textbooks. Science in these textbooks is characterized by isolated discoveries, product of individual scientific work. This kind of scientific work's representation is not faithful with the way in which science really works and how science really is. Besides, the textbooks analyzed emphasize experimental details while they do not go into theoretical aspects in depth.

KEYWORDS: history and philosophy of science (HPS), atomic structure, science textbooks.

Fecha de recepción: junio 2010 • Aceptado: junio 2012

Farías, D.M., Castelló, J. y Molina F. (2013). Análisis del enfoque de historia y filosofía de la ciencia en libros de texto de química: el caso de la estructura atómica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), pp. 115-133

INTRODUCCIÓN

El enfoque de historia y filosofía de la ciencia en los libros de texto de ciencias

El informe para la Fundación Nuffield sobre la educación científica en Europa señala que la enseñanza de la ciencia en este continente ha sido recientemente foco de atención por dos aspectos en los que coinciden los indicadores para la mayoría de las naciones europeas: la disminución de actitudes positivas de los alumnos hacia la ciencia y el decrecimiento, en los últimos años, de la participación de los estudiantes en estudios avanzados a nivel de doctorado en ciencias físicas, lo cual constituye una amenaza para la agenda de Lisboa, cuyo objetivo es situar en el futuro a la Unión Europea a la vanguardia de la economía del conocimiento (Osborne y Dillon, 2008).

Una de las recomendaciones del informe señala que el objetivo prioritario de la educación científica en Europa debe ser enseñar a los estudiantes las principales explicaciones que ofrece la ciencia del mundo material, y también la manera como esta trabaja. En este sentido, la HFC tiene un papel fundamental en la enseñanza de las ciencias, ya que una aproximación histórica al conocimiento disciplinar científico en la formación escolar puede proporcionar la idea de que la producción científico-técnica es una construcción social e individual y fomentar la formulación de preguntas sobre el significado del progreso científico, el papel de las ciencias y el de las técnicas en la formación de nuestras sociedades, los valores implicados, la influencia social y la de los poderes políticos, económicos y de la cultura en las orientaciones de las investigaciones científicas y técnicas (Álvarez-Lires, 2005).

Una visión más «humanizada» de la ciencia puede ser una de las alternativas para mejorar su imagen en la escuela, especialmente cuando los aspectos históricos han sido generalmente ignorados o incluidos con amplias distorsiones y errores históricos (Solbes y Traver, 2003). Es así como historiadores e investigadores en didáctica recalcan la necesidad de no reducir la historia a notas anecdóticas o cronológicas, a ofrecer la fecha de nacimiento y muerte de los «descubridores» o a la simple presentación de información desconectada (Kragh, 1992; Izquierdo, 1996; Kipnis, 1997; Muñoz-Bello y Portomeu-Sánchez, 2003), así como de enfatizar en un conocimiento histórico detallado de los episodios científicos con el fin de que los estudiantes puedan llegar a identificarse con el trabajo científico y, a partir del abordaje interdisciplinario alrededor de la HFC, lleguen a descubrir las relaciones que existen entre la ciencia y la cultura humana (Izquierdo, 1996). Leite (2002) señala que lo más importante es que el enfoque histórico requiere mentes abiertas para iniciar, dirigir y participar en una discusión acerca de tópicos de la HFC, donde a veces es difícil e incluso imposible encontrar las respuestas correctas, que es a lo que están acostumbrados maestros y estudiantes.

A pesar de la importancia de la HFC, los LT, la herramienta institucional más importante en las aulas de ciencias, no aprovechan este enfoque y en la mayoría de las ocasiones se limitan a la mención de algunos nombres y eventos sin ninguna consistencia o continuidad. El hecho de que los libros de texto presenten los hechos científicos de repente, en un escenario ahistórico, genera serios problemas a la hora de estudiar cómo los científicos llegan a establecer sus teorías (Fernández, 2000; Pérez-Rodríguez, Álvarez-Lires y Serrallé-Marzoa, 2009). Este hecho fue señalado también por Kuhn (2006) al discutir el papel que juegan los libros de texto a la hora de transmitir los paradigmas de la ciencia normal.

Ante el hecho de que la investigación en este campo, el análisis de la HFC en los LT, es hasta cierto punto limitada, en este trabajo nos hemos propuesto revisar y caracterizar los elementos asociados a la HFC que se presentan en cinco LT de química de los primeros semestres de universidad en los capítulos de estructura atómica, empleando diferentes enfoques metodológicos en el análisis, con el fin de explorar consideraciones tanto a nivel analítico como de contenidos, es decir, revisar si hay un tratamiento adecuado de los aspectos históricos y epistemológicos y cómo son analizados estos.

En este campo de investigación (LT e HFC) podemos mencionar tres trabajos que serán nuestros referentes metodológicos: el primero es la investigación de Laurinda de Leite (2002), que parte del hecho fundamental de que los maestros, en su formación, carecen de elementos sobre la historia de la ciencia y dependen fuertemente del LT, lo cual puede indicar que la historia de las ciencias que enseñan en sus aulas es la que estos contienen. El segundo trabajo es el de Mansoor Níaz (1998), quien considera la perspectiva histórica como una reconstrucción racional de vital importancia en la enseñanza de las ciencias ya que puede proporcionar a los profesores una visión de cómo se desarrollan los modelos y las teorías. Este autor ha aplicado sus ideas al estudio del concepto de enlace químico (Níaz, 2001), la tabla periódica (Brito, Rodríguez y Níaz, 2005) y los modelos atómicos de Thomson, Rutherford y Bohr. En este último caso se ha evaluado el contenido histórico en LT de química de primer año de universidad (Níaz, 1998) y de física general (Rodríguez y Níaz, 2004). Finalmente, la investigación realizada por Rosaria Justi y John Gilbert (1994*a, b*; 2000) caracteriza los modelos históricos basados en la noción de «programas de investigación científica» de Lakatos y los sugiere como una forma adecuada de introducir la HFC a nivel curricular. Han usado este enfoque en el estudio de los modelos atómicos (Justi y Gilbert, 1999*a*, 2000) y de los modelos cinéticos (Justi y Gilbert, 1999*b*). Para el caso de los modelos atómicos analizaron nueve LT brasileños y tres del Reino Unido. En este estudio concluyen que los libros mezclan diferentes representaciones y tienden a reducir los modelos abstractos a unos más simples y concretos, lo cual puede dar como resultado el uso de modelos híbridos en la enseñanza.

METODOLOGÍA

Selección de la muestra

Estamos interesados en analizar LT universitarios porque consideramos que la investigación didáctica se orienta en la mayoría de los casos hacia la educación escolar básica y secundaria y son pocos los trabajos en los que se encuentran los tres aspectos que nos competen: HFC, LT y nivel de educación superior (en este sentido podemos mencionar, por ejemplo, el trabajo de Zambrano, 2009). Hemos seleccionado los siguientes LT que son sugeridos como libros de consulta en los diferentes cursos de química general de la Universitat de Barcelona (UB):

- P. W. Atkins y L. Jones (1998). *Química: moléculas, materia, cambio*. Es el libro más recomendado en los diferentes cursos (en cuatro de cinco cursos).
- R. Dickerson *et al.* (1992). *Principios de química*. Aparece en segundo lugar en la lista de frecuencia (en dos de cinco cursos).
- F. Centellas *et al.* (1992). *Fonaments d'estructura atòmica i d'enllaç químic*. Además de ser sugerido en dos de cinco cursos, está escrito por un grupo de profesores de la UB.
- American Chemical Society (2005). *Química: un proyecto de la ACS*. La ACS publica continuamente libros de texto universitarios que contienen innovaciones pedagógicas, por tanto es un referente importante.
- J. Casabó-Gispert (1999). *Estructura atómica y enlace químico*. Su autor es un químico catalán reconocido en el campo de investigación de los compuestos de coordinación.

De esta manera, tenemos una muestra muy heterogénea que nos permitirá encontrar y discutir cómo se enfatizan y presentan los aspectos históricos y epistemológicos en el tema de la estructura atómica. Hemos seleccionado este tema por cuanto la historia asociada al establecimiento de un modelo de átomo es un excelente ejemplo de las dinámicas propias del trabajo científico y los aspectos importantes que caracterizan la construcción del conocimiento científico.

Metodologías para el análisis

Para el análisis de los LT hemos constituido un marco analítico que está basado en los tres trabajos citados previamente en la introducción (Leite, 2002; Níaz, 1998; Justi y Gilbert, 2000), dos de los cuales están dirigidos específicamente al análisis del tema de la estructura atómica y uno más general que se centra en el análisis de los aspectos históricos. Empleamos también el modelo de la función retórica, que ha sido propuesto para el análisis de las narrativas experimentales en libros de texto de ciencias (por ejemplo, Agudelo, Marzábal e Izquierdo (2009) en contenidos referentes a la tabla periódica). Nuestro interés al constituir este marco metodológico es llegar a una descripción lo más completa posible de cómo se trata la HFC en los LT, con enfoques que varían en su nivel de especificidad y en los que podemos incluso explorar la contribución de una metodología más descriptiva.

Metodología de Níaz (1998)

Este autor califica los criterios de la reconstrucción racional de la perspectiva histórica (su principio heurístico) como satisfactorio (S), si el tratamiento del tema en el LT presenta, aunque sea brevemente, el papel del conflicto en los marcos teóricos basado en la competencia entre modelos de átomo; se menciona (M) si no hay detalles acerca de los conflictos entre los marcos conceptuales o la controversia, pero al menos son mencionados; y no se menciona (NM) si no hay referencia a los conflictos entre marcos conceptuales. Los aspectos que caracteriza para los modelos atómicos de Thomson (T), Rutherford (R) y Bohr (B), son:

- T1 (Thomson 1): Los experimentos de Thomson se llevaron a cabo para discernir la naturaleza particular u ondulatoria de los rayos catódicos.
- T2: La determinación de la relación masa/carga fue realizada para identificar los rayos catódicos como iones o partículas universalmente cargadas.
- R1 (Rutherford 1): El átomo nuclear, como modelo que surge de los resultados de desviación de las partículas alfa, compite contra un marco conceptual rival, el de Thomson.
- R2 La probabilidad de grandes desviaciones es tan pequeña como el mismo átomo. Lo importante no eran los grandes ángulos de desviación, sino el hecho de que una de cada veinte mil partículas fuera desviada con grandes ángulos.
- R3 Para explicar los amplios ángulos de desviación y mantener su modelo de átomo, Thomson propuso la desviación compuesta (multitudes de pequeñas desviaciones), mientras que Rutherford proponía una desviación simple.
- B1 (Bohr 1): El principal objetivo del modelo de Bohr era explicar la estabilidad paradójica del átomo en el modelo de Rutherford, el rival de su propio modelo.
- B2 Bohr no tenía conocimiento de las fórmulas de Balmer y Paschen para el espectro de líneas del hidrógeno cuando escribió la primera versión de su artículo en 1913.
- B3 El modelo de Bohr es un injerto en el que se incorporan elementos de las ideas cuánticas de Planck a la electrodinámica clásica de Maxwell para superar sus dificultades. Los contemporáneos de Bohr y algunos filósofos de la ciencia se manifestaron enérgicamente en contra de esta «mezcla».

Adicionalmente, Níaz (1998) evalúa en los libros de texto los siguientes criterios, que considera que están relacionados con los marcos histórico y filosófico de la ciencia:

- Espacio (E), como número de páginas para presentar cada modelo.
- Detalles matemáticos (DM) que ayudan a comprender el modelo.

- Ilustraciones de aparatos experimentales (IA) empleados por Thomson y Rutherford.
- Ilustraciones de los tres modelos atómicos (IM).

La metodología de Leite (2002)

Esta investigadora desarrolló un instrumento (una lista de chequeo) basado en la revisión de la literatura para analizar el contenido histórico de los LT de ciencias a partir de las siguientes dimensiones:

1. Tipo y organización de la información histórica,
2. materiales usados,
3. precisión y veracidad de la información histórica,
4. contextos con los que se relaciona la información histórica,
5. estatus del contenido histórico,
6. actividades de aprendizaje relacionadas con la historia de la ciencia,
7. consistencia interna del libro, y
8. bibliografía sobre historia de la ciencia.

Las cuatro primeras dimensiones se enfocan hacia la información histórica; la quinta y la sexta están relacionadas con el rol dado a la información; la séptima se refiere a la consistencia del LT en términos de cómo se trata la historia de la ciencia, y, finalmente, la octava se concentra en la bibliografía relacionada con la historia de la ciencia. Las dimensiones se dividen a su vez en subdimensiones para puntualizar ciertos aspectos del análisis.

Metodología de Justi y Gilbert (2000)

Estos autores desarrollan un marco basado en la noción de Lakatos de «programas de investigación científica», identificando en cada uno de los seis modelos de átomo (griego, Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr y cuántico) los siguientes aspectos:

- Las deficiencias en la capacidad explicativa del modelo,
- los rasgos de cada modelo que fueron modificados e incorporados en el nuevo modelo,
- la manera como el nuevo modelo supera las deficiencias explicativas de sus antecesores,
- los beneficios explicativos no anticipados del nuevo modelo, y
- las deficiencias explicativas en el nuevo modelo.

Además, identifican:

- La noción de modelo adoptada: la presencia y la calidad de un concepto de modelo, con las que se detecta si aparecen problemas, como la falta de claridad, en los conceptos de modelo y teoría.
- Las bases para reconocer un modelo de átomo: en algunos textos solo se reconoce como modelo aquel que está basado en resultados experimentales, y es común que aspectos fenomenológicos que fueron explicados posteriormente con el modelo sean asumidos como su fundamento.
- Los cambios en los modelos de átomo: el soporte teórico en el que está fundado cada modelo generalmente no se discute de manera clara, se mencionan los nombres, las fechas y, algunas veces, experimentos que dieron como resultado descubrimientos que condujeron al desarrollo de un modelo dado.

Identifican también la presencia de modelos híbridos usando los siguientes criterios:

- No hay discusión cuando los atributos de un modelo son mantenidos por otro que lo sigue.
- Un atributo está correctamente asociado con un modelo dado cuando se presenta en forma escrita, pero una representación pictórica de este muestra atributos de otros modelos o una mezcla de atributos de dos modelos diferentes.
- Atributos de un modelo dado se presentan como si fueran partes de otro modelo.

Modelo de la función retórica (Izquierdo, 2005)

Este modelo permite caracterizar las narrativas experimentales en los LT a partir del análisis de:

- Los prólogos de los textos, para ver cómo expresa el autor sus finalidades.
- El índice del capítulo, que ofrece una primera visión del contenido del texto y la relación que se establece con el lector.
- Las narrativas experimentales: los hechos en los que se apoya el texto para desarrollar el contenido, teniendo en cuenta lo que aportan también las ilustraciones.
- La historia que se narra: sus protagonistas, actores secundarios, marco de acción, agentes y pacientes.
- La función retórica de la historia que se cuenta, a partir de la siguiente clasificación:
 - Narrativa apodíctica: muestra que el «mundo es así», es autoritaria; la ciencia se impone al mundo hasta el punto de que el autor puede no aparecer: el único mensaje es que la ciencia es muy importante y quien «habla» en el texto, es «la ciencia».
 - Narrativa magistral: se refiere a un fenómeno idealizado o a un conjunto de fenómenos agrupados de una determinada manera que es la que conviene al autor para desarrollar el texto. Predomina el tono de profesor que muestra conjuntos de fenómenos seleccionados como un escenario para una disertación científica.
 - Narrativa de duda retórica: suscita una duda o presenta un problema que luego será resuelto gracias a las informaciones o reflexiones que quería comunicar el autor. Las preguntas se utilizan para generar un flujo de información que se irá repartiendo entre estas y las respuestas.
 - Narrativa de duda real: ofrece una interpretación tentativa de un conjunto de hechos difíciles de interpretar.
- Las narrativas de acuerdo con su comunicabilidad:
 - Modelo de ciencia: afirmativa o tendiente a la resolución de duda.
 - Modelo de lector: según la didáctica tradicional o más acorde con la nueva didáctica.
- Las narrativas de acuerdo con su factualidad:
 - Basada en hechos reales, ya sean cotidianos o producidos en el laboratorio.
 - Basada en hechos transformados.

De esta manera, nuestro marco metodológico se caracteriza también por su heterogeneidad y la posibilidad de encontrar en esta una posible complementariedad que permita aproximarse a la complejidad que caracteriza a los LT. De acuerdo con nuestra valoración, la metodología de Níaz nos permitirá identificar que un buen LT (en términos de HFC) es aquel que es capaz de hacer evidente el principio heurístico de los diferentes modelos atómicos sin caer en una retórica de conclusiones. En la metodología de Leite, un buen LT es el que da relevancia a la información, fuentes, actividades y bibliografía de carácter histórico, y al trabajo dentro de comunidades científicas transmitiendo una imagen de ciencia contextualizada. Con la metodología de Justi y Gilbert, un buen libro de texto es el que define claramente lo que es un modelo, permite caracterizarlo como un «programa de investigación científica» y no genera modelos híbridos. Finalmente, el modelo de la función retórica nos permitirá tener una visión global de la relevancia que se da a los aspectos históricos en la narrativa del

texto. Cada uno de estos modelos aporta diferentes aspectos para «mirar» el objeto de estudio y, aparentemente, no hay intersecciones entre la información que podemos extraer con cada uno de ellos, por lo que la caracterización global del texto se construye, por adición, como el conjunto resultante de estos diferentes elementos.

RESULTADOS

Las cuatro metodologías fueron aplicadas en los cinco LT, pero a efectos de hacer nuestro trabajo presentable en términos de extensión hemos estructurado los resultados de la siguiente manera: a fin de ilustrar cómo se emplea cada una de las metodologías presentamos inicialmente el análisis de solo cuatro de los LT, uno para cada metodología; al final de la sección se presenta una tabla global de resultados (tabla 4). El libro que no se presenta en esta sección será empleado para ejemplificar el análisis global de resultados en la sección 4.

La metodología de Níaz (1998) en el análisis de la HFC del LT: *Fonaments d'estructura atòmica i d'enllaç químic* (Centellas et al., 1992)

La tabla 1 muestra los resultados de los diferentes criterios de análisis (C1, C2 y C3) para los modelos de Thomson (T1 y T2), Rutherford (R1, R2 y R3) y Bohr (B1, B2 y B3) en este LT, valorados como satisfactorios (S), mencionados (M) y no mencionados (NM). Se presentan, asimismo, los factores adicionales (E: espacio, DM: detalles matemáticos, IA: ilustraciones de aparatos experimentales, IM: ilustraciones de modelos atómicos).

Tabla 1.

Evaluación del libro de texto de Centellas *et al.* (1992), con la metodología de Níaz (1998)

| Modelo | C1 | C2 | C3 | E | DM | IA | IM |
|------------|----|----|----|----------|----|----|----|
| Thomson | S | M | * | 1 pág. | no | sí | no |
| Rutherford | NM | NM | NM | 2 ½ pág. | no | sí | sí |
| Bohr | M | M | NM | 6 pág. | sí | no | no |

* No hay un tercer criterio para este modelo.

Con respecto al modelo de Thomson, el texto presenta un enfoque heurístico; se menciona por ejemplo:

No existía acuerdo respecto de la naturaleza de los rayos catódicos, los físicos ingleses preferían creer que estaban constituidos por corpúsculos dotados de una gran velocidad, y por ello poco afectados por la gravedad, mientras que sus colegas alemanes pensaban que se trataba de una radiación como la luz. En 1887, Thomson usó un tubo de descarga [...] para intentar aclarar el problema (Centellas *et al.*, 1992, p. 48).

Y se detallan las contribuciones de Wilson, Millikan y Goldstein en la formulación de un nuevo modelo de átomo en el que «se conserva la idea de Dalton, los átomos se consideraron como esferas sólidas constituidas por partículas negativas (electrones) que se encuentran encajadas en el seno de la masa atómica dotada de carga positiva» (Centellas *et al.*, 1992, p. 53). Se ve claramente cómo el modelo no se presenta como retórica de conclusiones, sino que se construye y se liga con el trabajo de otros científicos.

No obstante, en el caso del modelo de Rutherford se maneja un esquema diferente, ya que la nueva propuesta de átomo se presenta como consecuencia que explica los resultados del experimento de las partículas alfa y no se hace referencia al modelo predecesor e incluso se afirma que en el nuevo modelo el núcleo estaba constituido por neutrones, a pesar de que estas partículas fueron descubiertas a comienzos de la década de los años treinta, como el mismo libro presenta posteriormente. Con esto se aprecia cómo el justificar el hecho experimental como fuente del modelo genera incluso incongruencias, a pesar de ser este un texto con un rigor científico-matemático bastante marcado.

Finalmente, en el modelo de Bohr tampoco se hace referencia al modelo predecesor; se hace mención al hecho de que el modelo de Bohr pudo explicar los espectros atómicos, pero no se detalla este aspecto y, por último, en el apartado denominado «fallas del modelo de Bohr, no se menciona como una de las más importantes, la mezcla de elementos clásicos y cuánticos en la construcción del modelo; en este caso, se apunta a una ciencia basada en argumentos matemáticos al carecer de soporte experimental y no se construye una visión de ciencia como proceso social estructurado.

En cuanto al análisis de los aspectos adicionales, el texto maneja una relación en gasto de espacio muy superior para el caso del modelo de Bohr en comparación con los otros dos modelos, resultado que se puede atribuir a su alto nivel de matematización y complejidad.

La metodología de Leite (2002) en el análisis de la HFC del LT *Estructura atómica y enlace químico* (Casabó-Gispert, 1999)

El inventario de dimensiones para evaluar el contenido histórico se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.
Análisis de las dimensiones para evaluar el tratamiento histórico del texto de Casabó-Gispert (1999) según la metodología de Leite (2002)

| <i>Dimensión (subdimensión)</i> | <i>Descripción</i> |
|--|--|
| Tipo y organización de la información Científicos | No se mencionan nacionalidad, datos de nacimiento o defunción, características personales, episodios, anécdotas, etc. |
| Evolución de la ciencia | La ciencia se presenta a través de pocos experimentos (especialmente a partir de relaciones matemáticas establecidas por científicos individuales), en hechos discretos, aislados, sin haber relación entre los pocos eventos o hechos que se mencionan. |
| Materiales usados para presentar la información histórica | Ninguno. |
| Precisión y veracidad de la información histórica | La poca información histórica que se presenta es correcta y precisa. |
| Contextos con los que está relacionada la información histórica | Solamente el científico, especialmente su relación o aporte al nuevo modelo físico de la mecánica cuántica. |
| Estatus del contenido histórico Papel del contenido histórico en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia Población objeto | Fundamental. Todos los estudiantes. |

| <i>Dimensión (subdimensión)</i> | <i>Descripción</i> |
|--|----------------------------------|
| Actividades de aprendizaje relacionadas con la historia de la ciencia - Estatus de las actividades - Nivel de las actividades - Tipo de actividad | Ninguno. Ninguna. Ninguno. |
| Consistencia interna del libro | Homogénea. |
| Bibliografía sobre la historia de la ciencia | Ninguna. |

En este LT no se pone ningún énfasis en el aspecto histórico en el tema de la estructura atómica más allá del nombre de algunos científicos y de tres fechas (descubrimiento de la naturaleza ondulatoria de los electrones en 1927, establecimiento de la relación de De Broglie en 1924 y formulación de la ecuación de Schrödinger en 1924) que permiten determinar el periodo de tiempo en el que se generaron estos principios que revolucionaron la manera de interpretar los fenómenos del mundo físico. Asimismo, no hay datos sobre la vida de los científicos, los descubrimientos, el contexto, etc., con lo que la ciencia que se presenta en este texto es una ciencia asocial, en la que incluso los mismos científicos trabajan de manera separada en temas inconexos.

La metodología de Justi y Gilbert (2000) en el análisis de la HFC del LT *Principios de química* (Dickerson et al., 1992)

Es importante anotar inicialmente que el libro no presenta una definición de modelo. No se considera explícitamente un modelo griego de átomo, sino que se menciona como una «idea» con la que los griegos «no hicieron nada»; acerca de la teoría atómica de Demócrito el texto cuestiona «¿Por qué, entonces, los antiguos griegos no utilizaron la teoría de Demócrito y llegaron a desarrollar la energía atómica?», con lo que se manifiesta la relevancia que da al hecho experimental en la formulación de una teoría. Se indica que para que una teoría científica sea útil, debe ser cuantitativa, debe predecir y la predicción debe ser comprobable, por lo cual las deficiencias explicativas en el modelo griego de átomo se atribuyen por completo a su falta de comprobación y aplicabilidad para la descripción cuantitativa de algún fenómeno en particular; la teoría atómica de Dalton (la cual tampoco se presenta explícitamente) habría superado estas deficiencias por la única razón de basar sus postulados en hechos experimentales.

En el caso de los modelos de Thomson, Rutherford, Bohr y el modelo cuántico, es posible caracterizarlos históricamente en términos de la interpretación que Justi y Gilbert hacen de la teoría de Lakatos de los programas de investigación científica, un resumen de la cual se presenta en la tabla 3. La manera como el texto presenta el desarrollo de la teoría atómica permite identificar claramente cómo un modelo está ligado con el precedente, y se hace especial énfasis en los aspectos en los que este se limita y cómo debe aparecer el nuevo para explicar dilemas para los que el modelo saliente ya no tiene solución; esta claridad en la presentación evita la presencia de modelos híbridos. La ciencia se presenta como construida a partir de hechos que se concatenan de manera lineal, poniendo especial énfasis en el papel que jugaron cada uno de los hechos fundamentales de la teoría cuántica en la formulación del modelo actual de átomo.

Tabla 3.
 Caracterización de los modelos históricos del átomo en el texto
 de Dickerson *et al.* (1992) según la metodología de Justi y Gilbert (2000)

| <i>Modelo de átomo</i> | <i>Deficiencias en la capacidad explicativa del modelo</i> | <i>Rasgos del modelo que fueron modificados e incorporados en el nuevo</i> | <i>Cómo el nuevo modelo supera las deficiencias explicativas de sus antecesores</i> | <i>Las deficiencias explicativas en el nuevo modelo (que lo pueden hacer atacable)</i> |
|------------------------|---|---|--|--|
| Thomson | No pudo explicar el resultado del experimento de las partículas alfa. | La carga positiva que estaba dispersa en el átomo se concentra ahora en el núcleo, que tiene un tamaño muy pequeño en comparación con el tamaño total del átomo. | El nuevo modelo explica perfectamente los resultados experimentales al bombardear las partículas alfa contra la lámina metálica. | No era posible explicar qué mantenía separadas las cargas negativas de las positivas (en el núcleo). «Si los electrones se mantuviesen estacionarios, la atracción electrostática los arrojaría sobre el núcleo» (p. 255), si estuviesen en movimiento circular alrededor del núcleo positivo sería un dipolo oscilante, que emite energía en forma de ondas electromagnéticas, el átomo no existiría. |
| Rutherford | El átomo es inestable; no está claro cuál es la relación de las cargas positivas nucleares y las negativas según las leyes de la teoría electromagnética clásica. | Se mantiene la idea de átomo nuclear, no obstante los electrones giran alrededor en órbitas con energía cuantizada, el electrón no «cae». | El nuevo modelo da la esperada estabilidad al modelo de Rutherford; además, explica el espectro electromagnético del hidrógeno. | Tiene una aplicación restringida, solo funciona para el hidrógeno y especies monoeléctricas como el He ⁺ y el Li ₂ ⁺ ; no puede explicar siquiera el espectro de los metales alcalinos. |
| Bohr | La aplicación al campo de las líneas de los espectros electromagnéticos es bastante limitada (solo especies monoeléctricas). | Se mantiene la idea de átomo nuclear; no obstante, al ser necesario considerar la naturaleza dual de los electrones, ya no pueden estar en órbitas definidas. La estructura electrónica del átomo se describe por funciones de onda donde es importante la probabilidad y la restricción de principio de incertidumbre. | Puede explicar los espectros de especies monoeléctricas, la estabilidad de las capas de ocho electrones de los gases nobles y las variaciones de las energías de ionización y afinidades electrónicas de los elementos, así como otros fenómenos asociados a la ley periódica. | La imposibilidad de resolver exactamente las ecuaciones diferenciales para especies diferentes a las monoeléctricas y las restricciones propias de cada una de las aproximaciones matemáticas para resolver los sistemas. |

El modelo de la función retórica (Izquierdo, 2005) en el análisis de la HFC del LT: *Química: moléculas, materia, cambio* (Atkins y Jones, 1998)

El análisis del LT empleando el modelo de la función retórica para analizar los capítulos de estructura atómica se inicia con el prólogo, donde se puede pensar en un texto en el que el nuevo conocimiento será adquirido por el estudiante tras un proceso de confrontación con lo que ya sabe, a la vez que le da significado. No obstante, esto dista mucho de lo que sucede realmente con el tema de la estructura atómica. Los estudiantes conocen en el bachillerato cinco modelos atómicos (el de Dalton, el de Thomson, el de Rutherford, el de Bohr y el modelo cuántico), y el texto les presenta que solo existen dos modelos (el nuclear y el cuántico). Por otro lado, como es común en el tratamiento de este tema, son muy pocos los nexos evidentes entre estos modelos y el mundo físico; no es posible ver sus aplicaciones, las cosas que son capaces de explicar y no explicar, así como sus limitaciones y alcances, con lo que las intenciones planteadas por los autores, por lo menos en este tema, no son evidentes. Al analizar el índice del capítulo de la estructura atómica, se transmite una imagen de ciencia afirmativa, en la que el estudiante aprenderá cómo es el interior del átomo; no se evidencia posibilidad de interacción con el lector, y es interesante notar cómo aquí no aparecen ciertos toques de interacción-conexión de la química con el mundo real que se evidencian en otros capítulos del libro.

Para mostrar al estudiante cómo es el interior de un átomo y convencerlo de esta realidad, los autores se valen inicialmente de la explicación detallada de los resultados del experimento de Marsden y Geiger, de una analogía en la que los «átomos son como gotas de gelatina cargadas positivamente con electrones suspendidos en ellas como si fueran pasas» y de una ilustración que amplía (en un zoom) lo que sucede en la lámina de oro al ser bombardeada con las partículas alfa, con lo que elementos del mundo cotidiano (representación macroscópica) se combinan con los conceptos químicos incluso del nivel de descripción submicroscópico y representaciones simbólicas en una misma descripción (Johnstone, 2000).

Para presentar el modelo actual de átomo, los autores se valen de la introducción de una serie de conceptos relacionados con las características de la luz, seguidos de los conceptos de fotón y cuanto, que permiten ayudar a interpretar los espectros atómicos, una realidad experimental que da origen a un conjunto de técnicas que tienen una aplicación real (el análisis de una muestra líquida de molaridad conocida). La argumentación continúa con el fin de «encontrar una explicación plausible para el escalonamiento de niveles energéticos revelado por la espectroscopía» y se presenta el problema de la dualidad onda-partícula que ahora es soportado en los experimentos de las rejillas de difracción de Davisson y Germer; en el texto abundan conceptos nuevos con un alto nivel de abstracción.

En la siguiente sección se parte de la afirmación «debido al carácter ondulatorio de los electrones, no se puede decir con certeza que el electrón esté en un punto determinado del átomo», como comienzo para presentar la ecuación de Schrödinger que permite calcular la probabilidad que hay de que un electrón se encuentre en un punto dado del espacio y se definen el orbital atómico y los orbitales s, p, d y f. La «realidad» pasa a ser explicada por una ecuación matemática de la que no se da ningún tipo de información. Se introducen los tres primeros números cuánticos como números que identifican un orbital atómico y se presenta el número cuántico de espín como resultado del experimento de Stern y Gerlach, que explica hechos de las líneas espectrales que no habían podido ser argumentados a partir de cálculos. Finalmente, el modelo se aplica al caso de la estructura electrónica del hidrógeno y su extensión a los átomos polielectrónicos, lo que requiere elementos adicionales como los conceptos de apantallamiento y una serie de reglas de origen incierto en el texto (principio de exclusión de Pauli, principio de construcción y regla de Hund) que llevan a un fin puramente operativo: construir la configuración electrónica de átomos neutros y átomos ionizados. Todo lo anterior ha sido trabajado en un esquema de narrativa magistral.

El estudiante «aprende» a partir de una exposición hecha por el autor en la que entidades teóricas (orbitales, fotones, cuantos, etc.) explican fenómenos del mundo real no cotidianos, producidos totalmente en el laboratorio (espectros, partículas alfa, haces de átomos de plata que pasan por campos electromagnéticos). El lector tiene el papel pasivo de escuchar la lección del maestro. El alto grado de especialización en el lenguaje promueve una relación distante entre lector y autor. La ciencia, en este tipo de libros de texto, es una ciencia de entidades abstractas, no una ciencia de humanos, donde la historia de la ciencia no tiene mucho que hacer ni que decir.

Con estas cuatro metodologías se analizaron cada uno de los cinco libros de texto; estos resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4.
Resumen del análisis de los cinco libros de texto con los cuatro enfoques metodológicos

| | <i>Níaz (1998)</i> | <i>Leite (2002)</i> | <i>Justi y Gilbert (2000)</i> | <i>Izquierdo (2005)</i> |
|-------------------------|---|--|--|--|
| Atkins y Jones (1998) | Dependiendo del modelo, se usa el principio heurístico o la retórica de conclusiones; no es homogéneo en este aspecto. | Contiene datos biográficos y algunos anecdóticos. Ciencia poco contextualizada, presentada como hechos aislados. No se da relevancia a la HFC en términos de materiales, actividades y bibliografía. | Concepto de modelo ligado a la experimentación. No hay presencia de modelos híbridos. Los modelos históricos no pueden ser caracterizados como programas de investigación. | Modelo de ciencia afirmativa. Narrativa magistral. Lector discípulo. Factualidad mixta: hechos reales del laboratorio y sus representaciones teóricas. |
| Casabó-Gispert (1999) | No se puede analizar por esta metodología, porque no contempla los modelos de Thomson, Rutherford y Bohr. | No hay datos biográficos de los científicos. Ciencia discreta, inconexa, a partir de descubrimientos aislados. No se da relevancia a la HFC en términos de materiales, actividades y bibliografía. | No hay concepto de modelo. No se da relevancia al hecho experimental, se da relevancia a la matematización propia del modelo cuántico. No hay presencia de modelos híbridos. No hay elementos para establecer el modelo cuántico como programa de investigación. | Ciencia afirmativa. Narrativa magistral. Lector discípulo. Factualidad mixta, conviven hechos del laboratorio con hechos cotidianos y hechos representados. |
| Dickerson et al. (1992) | No hay retórica de conclusiones, pero las explicaciones para establecer el principio heurístico determinadas por Níaz no son satisfactorias por completo. | No hay información completa de los datos biográficos de los científicos. Ciencia como conjunto de descubrimientos. Ciencia contextualizada con los aspectos sociotecnológico y científico. Bibliografía que apoya la historia de las ciencias. | Relevancia del hecho experimental en la formulación de teorías. Los modelos se pueden caracterizar completamente como programas de investigación. No hay presencia de modelos híbridos. | Modelo de ciencia afirmativa. Narrativa mixta entre magistral y duda retórica, aunque las preguntas se las formula y responde el autor. Factualidad mixta: hechos reales del laboratorio y sus representaciones. |

| | <i>Níaz (1998)</i> | <i>Leite (2002)</i> | <i>Justi y Gilbert (2000)</i> | <i>Izquierdo (2005)</i> |
|-------------------------|---|--|---|--|
| Centellas et al. (1992) | No es homogéneo, solo se presenta como principio heurístico el modelo de Thomson. | No hay datos biográficos o anecdóticos. Evolución lineal y sencilla de la ciencia, los descubrimientos están relacionados entre sí como en una línea de tiempo. Ciencia contextualizada con el ámbito científico. No se da relevancia a la HFC en términos de materiales, actividades y bibliografía. | Relevancia del hecho experimental para reconocer los diferentes modelos. No es posible caracterizar los modelos como programas de investigación, no se relacionan los modelos entre sí. No hay presencia de modelos híbridos. | Ciencia afirmativa. Lector discípulo desde una visión tradicional. Retórica apodíptica. Factualidad mixta: hechos reales del laboratorio explicados con un alto nivel de matematización. |
| ACS (2005) | No se hace mención a los modelos de Thomson y Rutherford. El modelo de Bohr no se presenta como conclusiones pero tampoco se satisfacen los criterios del principio heurístico establecidos por Níaz. | Hay datos biográficos pero no hay anécdotas de los científicos. Ciencia a partir de descubrimientos relacionados entre sí. Hay una imagen de comunidad científica. Ciencia contextualizada con el ámbito científico. No se da relevancia a la HFC en términos de materiales, actividades y bibliografía. | Definición clara y relevancia del concepto de modelo, incluyendo su relación con el trabajo experimental. El modelo de Bohr se puede caracterizar completamente como programa de investigación. No hay presencia de modelos híbridos. | Lector discípulo. Narrativa mixta entre magistral y duda retórica. Factualidad a partir de los hechos de laboratorio. |

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Implicaciones metodológicas de este análisis de los contenidos de HFC en los diferentes textos

En el epígrafe 3, hemos presentado una mirada a cada una de las metodologías que conforman nuestro marco metodológico; con esto es posible evidenciar qué elementos podemos extraer de su empleo para caracterizar los libros de texto. Ahora queremos mostrar cómo es posible interpretar los contenidos de HFC a partir de la lectura conjunta que proveen esas cuatro miradas distintas. Esto lo hacemos con los resultados para el libro *Química: un proyecto de la ACS* (American Chemical Society, 2005), por ser el único que no se presentó detalladamente en la sección tercera.

Al revisar la última fila de la tabla 4, encontramos los resultados del análisis para este LT con las cuatro aproximaciones metodológicas. En este no se presentan los modelos de Thomson y Rutherford, por lo que solo es posible analizar el modelo de Bohr con la metodología de Níaz; para este caso no se satisfacen los criterios B1 y B3, ya que solo se hace mención a los aspectos relacionados con el espectro de líneas del hidrógeno (criterio B2); desde este punto de vista, este no sería un buen libro a la hora de presentar la HFC asociada a este tema.

Sin embargo, a pesar de que en el texto no se hace referencia al modelo de Rutherford, no se podría afirmar rotundamente que la presentación que hace el texto del modelo de Bohr corresponda a una retórica de conclusiones, ya que este se presenta contextualizado con respecto al concepto de cuantización de la energía propuesto por Planck, que Bohr utilizó para proponer su modelo y que luego aplicó para explicar perfectamente las líneas espectrales en el átomo de hidrógeno. Asimismo, en el texto se presenta el impacto y éxito que el modelo tuvo y la decepción que produjo entre la comunidad científica el hecho de que solo se pudiera aplicar al átomo de hidrógeno y de que no fuera capaz de explicar el aspecto más importante de la constitución de la materia, la formación de moléculas.

Estos aspectos se ven más matizados cuando se revisan los resultados del análisis con la metodología de Leite. A pesar de no contarse con datos personales o anecdóticos de la vida de los científicos o actividades o bibliografía relacionadas con la HFC, es relevante que, desde el punto de vista epistemológico, la imagen de la ciencia que presenta sea la de unos científicos que tienen en cuenta el aporte de otros para la construcción de las ideas propias; esto es especialmente aplicable gracias a las características de este periodo de descubrimientos de la teoría cuántica (primeras décadas del siglo XX), donde los físicos, a partir de los trabajos de Planck hasta el principio de incertidumbre, fueron constituyendo el cuerpo conceptual de la física cuántica, que tuvo su aplicación directa en la explicación de la estructura del átomo. El libro de texto presenta esto claramente y se ve cómo las modificaciones en un modelo base (modelo de capas de electrones) hasta uno más complejo (modelo ondulatorio) son producto de las diversas contribuciones de científicos que trabajan en temas relacionados.

Esta idea de proceso, de trabajo científico construido sobre bases previas, se hace evidente cuando se ven los resultados a la luz de la metodología de Justi y Gilbert, donde el modelo de Bohr puede ser caracterizado plenamente como un programa de investigación científica. Adicionalmente, en este libro de texto, el concepto de modelo tiene especial importancia, siendo explícito incluso desde la introducción el que los modelos son entidades de representación que ayudan a entender los fenómenos y los conceptos; se hacen continuas referencias a la utilidad que prestan, de forma tal que el estudiante comprende la necesidad de emplearlos, cómo interpretarlos, así como sus alcances y limitaciones, con lo que también se construye una idea de cuál es su papel en las dinámicas del trabajo científico y su relación con los resultados experimentales.

Cuando se analiza el libro de texto con el modelo de la función retórica, se aprecia cómo incluso desde el prólogo hay expresada una intención no solo de priorizar conceptos, sino también de desarrollar estrategias en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estas ideas se materializan y se pueden evidenciar al revisar incluso su índice, donde, a diferencia de muchos LT, no aparece un simple listado de conceptos, sino que se apela a títulos llamativos que se relacionan entre sí a través de las diferentes secciones. Así, por ejemplo, el de la sección 4.4 (*«La luz como partícula»*) está relacionado con el de la 4.6 (*«Si una onda puede ser una partícula, ¿puede una partícula ser una onda?»*). Estos títulos se entretajan con otros más formales (*«Energía potencial de un núcleo y un electrón»*), lo que evidencia una intención de presentar los contenidos de este capítulo, que generalmente son muy «rígidos» e incluso «incuestionables», de una manera diferente, donde las preguntas son la clave (*«Energía de los electrones en los átomos: ¿por qué los átomos de los electrones no colapsan?»*).

El texto se soporta de manera fundamental en la experimentación (aspecto que se había evidenciado con la metodología de Justi y Gilbert), incluso en un capítulo tan «teórico» como el de la estructura atómica. El libro maneja un esquema que parte de una introducción general donde el tema se contextualiza, incluso con un poco de historia sobre la tabla periódica, y continúa con dos secciones: «Investiga» (donde se proponen pequeñas experiencias) y «Considera» (donde se pide que se desarrollen explicaciones o hipótesis a lo observado; especialmente en el caso de este capítulo, esas explicaciones e hipótesis pueden estar asociadas con datos experimentales traídos al texto a través de gráficas y provienen del trabajo de científicos en sus laboratorios). Así, el personaje fundamental del relato en este

texto es el experimento y con él todos los factores que tiene asociados: los científicos que lo realizan, los científicos que analizan sus resultados, las explicaciones que de él se generan, los modelos que surgen de esas explicaciones, las aplicaciones y las limitaciones de esos modelos, todo enmarcado dentro del correspondiente contexto sociocientífico:

Para explicar las líneas oscuras del espectro solar, Gustav Kirchhoff (físico alemán, 1824-1887) propuso que ciertos átomos, en una capa alrededor del sol, absorbían la emisión continua, justificándose así las longitudes de onda desaparecidas... Los átomos pueden absorber luz de una misma longitud de onda produciendo líneas oscuras, un espectro de absorción [Figura 4.6 (b)], donde la luz procedente de una fuente continua desaparece en el espectro. Así, se pueden utilizar los espectros de absorción para analizar la composición de zonas más frías en torno a las estrellas y los espectros de emisión para analizar la composición de sus superficies más calientes. También es posible utilizar los espectros de absorción para analizar las nubes de átomos y moléculas situadas entre las estrellas y los telescopios (American Chemical Society, 2005, p. 219).

El modelo de la función retórica permite seguir el relato analizando qué elementos se priorizan, a qué se da relevancia y sobre qué elementos gira la explicación, con lo que podemos tener una idea muy amplia del papel que se da a la HFC y que recoge aspectos de las metodologías previamente analizadas. Es posible ver si en el libro se va a dar importancia a la historia de la ciencia asociada a los hechos y fenómenos naturales que se presentan; asimismo, su seguimiento permite determinar qué papel juega el científico en ese relato, qué papel juegan otros científicos, qué papel desempeña el contexto, si la imagen del científico ligado a su trabajo experimental promueve un tipo de historia de la ciencia que deba ser memorizado, o si por el contrario, invita a que sea asimilado en el esquema de adquisición de conocimientos por parte del estudiante.

Al comparar estas cuatro metodologías, es evidente que a la par de la complejidad de los contenidos analizados, la HFC en los LT, hay una complejidad asociada a lo que implica el análisis que muestra claramente que los resultados no pueden reducirse a la «sumatoria» de calificaciones de los diferentes libros, sino más bien a la búsqueda de elementos «comunes». No obstante, la clave está en cuestionar ¿para qué queremos evaluar la HFC en los LT?, ¿para clasificarlos?, ¿evaluarlos?, ¿compararlos?, ¿decidir cuál usar en el aula?, y si nos centramos en qué metodología usar para satisfacer las preguntas y metas que nos proponemos, ¿es necesario dar prioridad a una única metodología? o es más adecuado construir marcos metodológicos más amplios donde diferentes metodologías se complementen (o incluso no) y aporten elementos diversos para tener un panorama más amplio del problema? Preguntas que pueden resultar relevantes en el ámbito de estudio del análisis de los libros de texto, que lo complejizan y relativizan y que se apartan de miradas simplificadoras que reducen el análisis de los libros de texto a calificativos dicotómicos del estilo bueno/malo o sirve/no sirve.

Implicaciones didácticas de los contenidos de HFC en los diferentes textos

En los resultados generales se aprecia claramente cómo, en la mayoría de los textos, el tratamiento del tema de la estructura atómica, a pesar de ser uno de los que se haría más propicio para explotar el enfoque histórico epistemológico, deja una imagen de ciencia inconexa a partir de descubrimientos aislados realizados por científicos que trabajan individualmente, lo cual no permite comprender verdaderamente cómo es la ciencia, cómo funciona y cómo se representa. Estos resultados son preocupantes por cuanto, si bien uno de los objetivos primarios de la HFC en la secundaria es transmitir una imagen positiva de la ciencia, en las carreras de ciencias la imagen de la ciencia se está construyendo para los futuros científicos, con lo que se cae en el riesgo de encerrar esta mala imagen en un bucle donde la escritura de los LT universitarios queda en manos de científicos que fueron formados con una imagen deformada de la ciencia a partir de los LT que usan en gran parte de su formación, lo que confirma

que en la mayoría de los casos la visión personal sobre la ciencia por parte del autor se impone sobre los objetivos e intenciones curriculares.

Se puede afirmar que ninguno de los textos analizados enfoca adecuadamente el tema de la estructura atómica desde la perspectiva histórica-epistemológica, y es posible ver que los libros de texto van desde los que carecen por completo de esta, como el de Casabó-Gispert, pasando por un nivel intermedio donde se evidencia cierto interés por la historia y la filosofía de la ciencia, como los libros de Centellas *et al.* y de Atkins y Jones, hasta el libro de Dickerson *et al.* y el de la ACS, que serían, por emplear un calificativo, los más acertados, pues intentan mostrar una idea de la ciencia más contextualizada, donde es importante conocer no solo la disciplina en sí, sino también un poco de su origen y dinámicas hacia la construcción del conocimiento científico.

Se debe resaltar que, de acuerdo con lo expuesto por Níaz (1998), todos los libros de texto dan relevancia a la importancia del hecho experimental, mientras que los detalles teóricos (principio heurístico) se dejan de lado y son apenas observables; esto se puede afirmar claramente gracias al análisis de los libros de texto que se hizo desde el modelo de la función retórica, donde el hecho experimental o los detalles matemáticos son, en la totalidad de los textos, los protagonistas de la historia que se cuenta.

CONCLUSIONES

Las preguntas que nos formulábamos anteriormente: ¿para qué queremos evaluar la HFC en los LT?, ¿para clasificarlos?, ¿evaluarlos?, ¿compararlos?, ¿decidir cuál usar en el aula? y ¿es necesario dar prioridad a una única metodología para evaluarlos?, parecen adquirir, a la luz de los resultados, aún más validez y quedamos ante dos desafíos. El primero está relacionado con la manera como se deben analizar los LT y la necesidad de reconocer que las miradas únicas que se interpretan aisladamente solo ofrecen miradas parciales, por lo que consideramos prioritario asumir que cualquier evento puede tener diferentes descripciones y que es inútil poner un punto de vista sobre los demás, ya que no hay posiciones privilegiadas (Van Brakel, 2000), con lo que debería ser más usual en nuestro campo de investigación usar todos los recursos disponibles para alcanzar una descripción más rica del estado de la HFC en estos LT, acorde con una intención de no clasificar, de no intentar colocarlos en compartimientos establecidos (Latour, 2007).

El segundo está referido a los contenidos de HFC propiamente dichos, a la necesidad de cuestionarnos cuál es la visión que tenemos los que hacemos y enseñamos ciencias, incluida la comunidad científica, de la historia, la filosofía y, por qué no, la sociología de la ciencia. Estamos inmersos aún en un modelo en el que cada episodio de la ciencia es tratado como si fuera parte de dos tipos de historias diferentes: una de lo político, lo social, lo económico, lo institucional y lo afectivo (externa) y otra para las ideas, los principios, el conocimiento y los procedimientos (interna) (Latour, 2001), con lo que la imagen que estamos enseñando se distancia ampliamente de la verdadera ciencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDELO, C.; MARZÁBAL, A. e IZQUIERDO, M. (2009). *Distintas narrativas para un mismo contenido: la tabla periódica en los libros de texto. Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2892-2895.
- ÁLVAREZ-LIRES, M. (2005). *Experiencias y perspectivas de la introducción de la historia de las ciencias en la enseñanza secundaria. Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra. VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY (2005). *Química un proyecto de la ACS*. Barcelona: Editorial Reverté.
- ATKINS, P. y JONES, L. (1998). *Química: Moléculas, materia, cambio*, 3 ed. Barcelona: Ediciones Omega.
- BRITO, A., RODRÍGUEZ, M. y NÍAZ, M. (2005). *A Reconstruction of Development of the Periodic Table Based on History and Philosophy of Science and Its Implications for General Chemistry Textbooks. Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), pp. 84-111.
- CASABÓ-GISPERT, J. (1999). *Estructura atómica y enlace químico*. Barcelona: Editorial Reverté.
- CENTELLAS, F., BRILLAS, E., DOMÈNECH, X. y BASTIDA, R.M. (1992). *Fonaments d'estructura atòmica i de l'enllaç químic*. Barcelona: Barcanova.
- DICKERSON, R., GRAY, H., DARENSBOURG, M. y DARENSBOURG, D. (1992). *Principios de Química*, 3.^a ed. Barcelona: Editorial Reverté.
- FERNÁNDEZ, M. (2000). *Fundamentos históricos*. En: Perales, F. J. y Cañal, P. (dirs.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Editorial Márfil, pp. 65-84.
- IZQUIERDO, M. (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, pp. 7-21.
- IZQUIERDO, M. (2005). *Estructuras retóricas en los libros de ciencias. Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 36, pp. 11-34.
- JOHNSTONE, A. H. (2000). Teaching of Chemistry: Logical or psychological? *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 1(1), pp. 9-15.
- JUSTI, R. y GILBERT, J. (1999a). *History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. Science & Education*, 8, pp. 287-307.
- JUSTI, R. y GILBERT, J. (1999b). *A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models. Science Education*, 83(2), pp. 163-177.
- JUSTI, R. y GILBERT, J. (2000). *History and philosophy of science through models: some challenges in the case of the atom. International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 993-1009.
- KIPNIS, N. (1997). *The «historical-investigative» approach to teaching science. Science & Education*, 5, pp. 277-292.
- KRAGH, H. (1992). *A sense of history: History of science and the teaching of introductory quantum theory. Science & Education*, 1, pp. 349-363.
- KUHN, T. (2006). *La estructura de las revoluciones científicas*, 3.^a ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- LATOURET, B. (2001). *La esperanza de Pandora*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- LATOURET, B. (2007). *Reassembling the social: an introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- LEITE, L. (2002). *History of science in science education: development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. Science & Education*, 11, pp. 333-359.
- MUÑOZ-BELLO, R. y PORTOMEU-SÁNCHEZ, J.R. (2003). *La historia de las ciencias en los libros de texto; La (s) hipótesis de Avogadro. Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 147-159.

- NÍAZ, M. (1998). *From cathode rays to alpha particles to quantum of action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks*. *Science Education*, 82(5), pp. 527-552.
- NÍAZ, M. (2001). *A rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks*. *International Journal of Science Education*, 23(6), pp. 623-641.
- OSBORNE, J. y DILLON, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical reflections*. Londres: The Nuffield Foundation.
- PÉREZ-RODRÍGUEZ, U., ÁLVAREZ-LIRES, M. y SERRALLÉ-MARZOA, J.F. (2009). *Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evolución histórica del conocimiento del Universo*. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), pp. 109-120.
- RODRÍGUEZ, M. y NÍAZ, M. (2004). *A Reconstruction of Structure of the Atom and Its Implications for General Physics Textbooks: A History and Philosophy of Science Perspective*. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), pp. 409-424.
- SOLBES, J. y TRAVER, M.J. (2003). *Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry*. *Science & Education*, 12(7), pp. 703-717.
- VAN Brakel, J. (2000). *Philosophy of chemistry*. Leuven: Leuven University Press.
- ZAMBRANO, A. (2009). *La historia y epistemología de las ciencias en los textos universitarios*. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra. VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 1668-1673.

HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE APPROACH ANALYSIS IN CHEMISTRY TEXTBOOKS: THE ATOMIC STRUCTURE CASE

Diana M. Farías

Manuel F. Molina

Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia. Grupo de Investigación en Enseñanza de la Química
Josep Castelló

Universidad de Barcelona. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y la Matemática

In this work several aspects of the HPS perspective were analyzed in five first-year textbooks used at the University of Barcelona (UB). This analysis compared the scope of four different methodologies, two of them specific to history and philosophy contents on the subject of atomic structure and atomic models –historical reconstructions of Niaz (1998) and historical models of Justi and Gilbert (2000), specific to evaluating HPS contents in science textbooks (Leite, 2002)– and another used to characterize «experimental narratives» in science textbooks: the model of rhetorical function (Izquierdo, 2005).

Our methodological framework is characterized by its heterogeneity in which can be found a complementarity that approaches the complexity proper to textbooks. The four methodologies themselves share no elements, that is to say, there is no apparent intersection in their contribution. Thus, their contribution is understood as a sum of its parts rather than as an analysis of differences and similarities. This process of adding elements fits in our idea of what it means to «complicate» the analysis of HPS in science textbooks.

The results are grouped based on two perspectives: a purely methodological one corresponding to comparing the methodologies, and the other of the histo-philosophical content itself. When comparing the four methodologies it was evident that along with the complexity of the contents analyzed, there was another difficulty associated with the implication of the analysis and the need to answer questions such as what is the purpose of evaluating HPS in textbooks (to classify, measure, compare them, or decide which to use in the classroom). If these questions are limited to which methodology to use in order to accomplish certain goals, new questions arise: is it necessary to give priority to only one methodology? Or is it more appropriate to build more extensive methodological frameworks where different methodologies complement each other (or not) and contribute diverse elements to a more broad panorama of the problem? These questions remain open at the end of this study.

In the case of content, it was found that even though atomic structure is one of the subjects in which the historical-epistemological perspective is most exploitable, most of the texts leave an image of science as disconnected. This image is built around isolated discoveries made by scientists working by themselves, an image that does not allow for an understanding of how science really is, how it works, and how it is represented. None of the analyzed texts focused appropriately on the subject of atomic structure from this perspective and it was possible to identify that the design of the books covered a spectrum of possibilities from which they completely lack a historical-epistemological vision. The range passes through an intermediate level where there is an apparent interest in this perspective, and arrives at books that present a more contextualized idea of science where it is not only important to know concepts, but also about their origin and dynamics toward a construction of scientific knowledge.

These results allow us to demonstrate the need to propose two challenges. The first is related to the way in which textbooks should be analyzed and the need to recognize that each framework contributes isolated elements to the analysis. However, if we assume that any event can have different descriptions, and if different views come together, then a more rich description of the state of the HPS in these textbooks can be achieved. Here the intention is actually to know more about the books before classifying them or assigning them labels or overly-simplified categories such as «good» or «bad».

The second challenge refers to the contents of HFC, or more properly said, to the need to question the vision of those who write science books and those who use them to teach history, philosophy, and of course, the ignored sociology of science. These are visions which lead to teaching an image of science vastly distanced from scientific activity.

