

HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS: NECESIDAD DE SU INCORPORACIÓN EN LOS TEXTOS UNIVERSITARIOS DE CIENCIAS

MANSOOR NIAZ Y MARÍA A. RODRÍGUEZ

Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Dpto. de Química, Cumaná
E-mail: mniaz@sucre.udo.edu.ve

RESUMEN

Numerosos autores han reconocido la importancia de la historia y filosofía de la ciencia para los libros de texto, propiciándose la inclusión de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de la ciencia. El objetivo de este trabajo es analizar cómo los libros de texto de ciencia con nivel universitario, presentan los detalles experimentales de tópicos diferentes. Entre los investigadores de la enseñanza de la ciencia, se ha logrado consenso sobre la implementación de la nueva filosofía de la ciencia, a través de una serie de criterios. Los resultados obtenidos muestran que: 1) En el caso de la estructura atómica, de 23 libros de texto analizados ninguno describe satisfactoriamente la rivalidad existente entre los marcos teóricos en conflicto de Thomson y Rutherford (dispersión múltiple/simple de partículas alfa). Únicamente tres libros describen satisfactoriamente que el principal objetivo de Bohr al plantear su modelo, fue la paradójica estabilidad del átomo de Rutherford. 2) En el experimento de la gota de aceite de Millikan, de 31 textos de química general y 40 de física general, todos ignoraron la fuerte controversia entre Millikan y Ehrenhaft. 3) Con respecto a las leyes de las proporciones definidas y múltiples la mayoría, de 27 textos analizados, no presentan el origen histórico y controversial de estas leyes. 4) Se analizaron 22 libros de texto de química general con respecto a la presentación de la teoría cinética, encontrándose que la mayoría ignoraron la importancia de las suposiciones que guiaron a Maxwell para establecer los postulados. 5) De 27 libros de química general analizados respecto a la presentación del enlace covalente, únicamente un libro menciona y ninguno describe satisfactoriamente, la competencia existente entre transferencia y compartición de electrones. En conclusión, los textos analizados (todos publicados en EE.UU.) ignoran la perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia y por lo tanto no facilitan la comprensión conceptual.

PALABRAS CLAVE: Naturaleza de la ciencia, Historia y filosofía de la ciencia, Enseñanza de la ciencia

ABSTRACT

Various authors have recognized the importance of history and philosophy of science for textbooks, and thus facilitate the inclusion of the nature of science in science teaching. The objective of this article is to analyze university level science textbooks with respect to the presentation of experimental details in different topics. Among researchers in science education a consensus has been reached with respect to the implementation of the new philosophy of science, through a series of criteria. Results obtained show that: 1) In the case of atomic structure, of the 23 textbooks analyzed none described satisfactorily the rivalry that existed between the conflicting frameworks of Thomson and Rutherford (compound/simple scattering of alpha particles). Only three textbooks described satisfactorily that the main objective of Bohr was to explain the paradoxical stability of the Rutherford atom. 2) In Millikan's oil drop experiment of the 31 general chemistry and 40 general physics textbooks analyzed all ignored the controversy between Millikan and Ehrenhaft. 3) With respect to the laws of definite and multiple proportions, of the 27 textbooks analyzed the majority do not present the historical origin and the controversial nature of these laws. 4) Of the 22 general chemistry textbooks analyzed with respect to the presentation of kinetic theory, the majority ignored the suppositions that guided Maxwell to establish his postulates. 5) Of the 27 general chemistry textbooks analyzed with respect to the covalent bond only one mentioned and none described satisfactorily the competition that existed between the transfer and sharing of electrons. It is concluded that the textbooks analyzed (all published in U.S.A.) ignore the history and philosophy of science perspective and hence do not facilitate conceptual understanding.

KEY WORDS: Nature of science, History and philosophy of science, Science teaching.

INTRODUCCIÓN

Investigaciones recientes en la educación de la ciencia, han reconocido la importancia de la historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza de la ciencia (Duschl, 1994; Matthews, 1994; Monk & Osborne, 1997; Moore, 1998;

Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Matthews, 2000; Niaz & Rodríguez, 2000; Niaz, 2001a; Niaz & Rodríguez, 2001).

En los últimos dos siglos, el positivismo (como filosofía y metodología) ha jugado un papel preponderante, tanto en las ciencias naturales como en las ciencias sociales (Wade, 1977; Kilborne, 1992; Niaz, 1994). A partir de mediados de este siglo el trabajo de los positivistas ha sido duramente criticado por diferentes autores (Hanson, 1958;

Recibido: junio 2001. Aprobado: julio 2001.
 Versión final: octubre 2001

Popper, 1959; Toulmin, 1961; Kuhn, 1962; Feyerabend, 1970; Lakatos, 1970; Laudan, 1977; Cartwright, 1983; Giere, 1999).

De acuerdo a la nueva filosofía de la ciencia, nuestras observaciones dependen en parte de lo que ha sido la formación, experiencia y expectativas del observador, por lo tanto las observaciones no son objetivas sino que están imbuidas del marco teórico del científico (Niaz, 1997). En este mismo orden de ideas, podemos decir que en la nueva filosofía de la ciencia, lo que el científico observa e investiga es una “construcción” de la realidad, de acuerdo con su formación, marco teórico y hasta valores sociales (Piaget, 1971; Pascual-Leone, 1976; Piaget, 1985; Glasersfeld, 1989; Piaget & Garcia, 1989; Niaz, 2001d).

Es interesante señalar que el filósofo positivista y químico-físico Wilhelm Ostwald (1853-1932), fue quizás el primero en el siglo xx, en enfatizar la importancia de la historia y filosofía de la ciencia para los libros de texto (Ostwald 1908, reproducido en Hauser 1951, p. 492). Desde entonces numerosos autores han propiciado la inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza de la ciencia (Kauffman, 1989). De igual manera se ha reconocido la importancia del libro de texto en la educación de la ciencia, para transmitir a los estudiantes cómo se ha desarrollado una ciencia en particular (Kuhn, 1970; Brush, 1978; Siegel, 1978; Stinner, 1992; Jensen, 1998; McComas et al., 1998; Shiland, 1998).

La metodología de Lakatos de la competencia entre programas de investigación, suministra un marco teórico útil para la reconstrucción del entendimiento del contenido de la ciencia por parte de estudiantes, profesores y textos. Esta metodología enfatiza la importancia de rivalidades y conflictos generados en el desarrollo de la ciencia y ha sido aplicada previamente para interpretar la investigación en la educación en ciencia (Gilbert & Swift, 1985; Linn & Songer, 1991; Chinn & Brewer, 1993; Niaz, 1993a; Niaz, 1993b; Niaz, 1994a; Niaz, 1994b; Niaz, 1995; Blanco & Niaz, 1997; Kelly, 1997; Blanco & Niaz, 1998).

Así como en la filosofía de las ciencias, el positivismo tuvo sus críticos en la metodología de la investigación educativa. Un pionero de la nueva metodología en investigación educativa, es Donald T. Campbell y su aporte fundamental puede resumirse de la forma siguiente: el conocimiento avanza tanto en las ciencias sociales como en las naturales, por la rivalidad entre las diferentes hipótesis que aparecen como aceptables para explicar un fenómeno (Niaz, 1997). El objetivo de este trabajo es analizar los textos de física y química para determinar si incorporan algunos aspectos de la nueva filosofía de las ciencias. La lista de los textos analizados se encuentra en la sección de referencias.

NATURALEZA DE LA CIENCIA

Uno de los aspectos importantes de la nueva filosofía de las ciencias, es como conceptualizar la naturaleza de la ciencia, y en los actuales momentos sigue habiendo un considerable debate a este respecto (Kuhn, 1970; Lakatos, 1970; Cartwright, 1983; Holton, 1986; Kitcher, 1993; Laudan, 1996; Giere, 1999; Koertge, 2000; van Fraassen, 2000). Sin embargo, una revisión de la literatura reciente en la educación en ciencia (McComas et al., 1998; Smith & Scharman, 1999; Niaz, 2001), muestra que puede lograrse consenso con respecto a la naturaleza de la ciencia (NC), basándose en los siguientes aspectos:

NC₁: Las teorías científicas son tentativas.

NC₂: Las teorías no se convierten en leyes aún con evidencia empírica adicional.

NC₃: No hay un método científico universal que indique los pasos a seguir.

NC₄: Las observaciones están cargadas de teoría.

NC₅: El conocimiento científico implica, observación, argumentos racionales, creatividad y escepticismo.

NC₆: El progreso científico está caracterizado por la competencia entre teorías rivales.

NC₇: Los científicos pueden interpretar los mismos datos experimentales en más de una forma.

NC₈: El desarrollo de las teorías científicas, a veces, está basado en fundaciones inconsistentes.

NC₉: Las ideas científicas son afectadas por el medio social e histórico.

ESTRUCTURA ATÓMICA

Con respecto a los modelos de Thomson, Rutherford y Bohr, deberíamos esperar que se enfatizara la importancia de las hipótesis alternativas, desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia. Sin embargo, Niaz (1998a) reportó que de los 23 libros de química general analizados, únicamente dos describen satisfactoriamente que Thomson decidió medir la relación masa/carga, para identificar los rayos catódicos como iones (si la relación no era constante para diferentes gases) o como una partícula universal con carga (relación constante para todos los gases). Esto demuestra cómo la naturaleza de la ciencia, se pone de manifiesto a través de la competencia entre teorías rivales y podría incluirse en los textos (NC₆).

Con respecto al experimento de Rutherford de dispersión de las partículas alfa, esperaríamos que los libros de

texto reflejasen la rivalidad existente entre la hipótesis de Rutherford de dispersión simple, basada en un encuentro único en contraposición a la hipótesis de Thomson de dispersión múltiple, lo que originó una agria disputa entre los proponentes. Ninguno de los textos analizados describe satisfactoriamente la rivalidad entre los dos marcos teóricos en conflicto (NC_6) y como los científicos pueden interpretar los mismos datos experimentales en más de una forma (NC_7). En general, los libros ignoraron la rivalidad existente entre ambos modelos. Sin embargo, desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia, se ha venido señalando la importancia que tienen tales rivalidades basadas en interpretaciones alternativas de los datos experimentales (Lakatos, 1970).

El principal objetivo del modelo de Bohr fue explicar la estabilidad paradójica del modelo nuclear de Rutherford. Esperaríamos que en los libros de texto se reflejase cual fue la inquietud de Bohr al proponer su modelo. Sin embargo, Niaz (1998a) encuentra que de los 23 textos analizados únicamente cuatro mencionan cual fue el principal objetivo de Bohr y únicamente tres lo describen satisfactoriamente. Podríamos citar aquí lo señalado por Kuhn (1970), con respecto a la naturaleza ahistórica de los libros de texto en ciencia: Los libros de texto comienzan por truncar el sentido científico de la historia, sustituyendo lo que han eliminado por algo de su preferencia, lo que invariablemente es la interpretación empirista (pp. 137-138). Sin embargo, es interesante resaltar que los conocimientos adquiridos a través de los textos influyen mucho en la conceptualización de los estudiantes, tal como señalan Rodríguez & Niaz (1999), por lo que es sumamente importante presentar el material desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia.

EXPERIMENTO DE LA GOTA DE ACEITE DE MILLIKAN

El experimento de la gota de aceite realizado por Millikan para determinar la carga del electrón, es considerado uno de los experimentos más importantes para nuestro entendimiento de la química y física modernas (Niaz, 2000a). Este experimento fue crucial para confirmar la carga eléctrica elemental (Niaz & Rodríguez, 2001). A pesar de todo esto, la mayoría de los educadores de ciencia, ignora que hasta la aceptación de la existencia de la carga eléctrica elemental, existió una fuerte disputa entre R. A. Millikan (Universidad de Chicago) y E. Ehrenhaft (Universidad de Viena), que se mantuvo durante varios años (1910-25). Tanto Millikan como Ehrenhaft, obtuvieron resultados experimentales similares (Holton, 1978). A pesar de esto, Millikan postuló la existencia de la carga eléctrica fundamental (elec-

trón) mientras que por el contrario, Ehrenhaft postuló la existencia de cargas fraccionales (sub-electrones). Este es el clásico ejemplo de cómo un mismo experimento realizado por diferentes investigadores produciendo resultados similares, da lugar a interpretaciones distintas (NC_7).

Era de esperarse que un problema de esta magnitud quedase reflejado en los libros de texto, para que los estudiantes puedan valorar lo importante del marco teórico del científico, el cual mantiene a pesar de resultados experimentales adversos y asumir que el avance de la ciencia ocurre debido a la competencia entre teorías rivales.

A pesar de lo esperado, Niaz (2000a) encontró, después de evaluar 31 textos de química general, que ninguno menciona detalles de la controversia Millikan-Ehrenhaft. Asimismo, en otro trabajo realizado por Rodríguez & Niaz (2001) donde se analizaron 40 textos de física general, se encontró que ninguno menciona la controversia. Es interesante señalar que muchos libros de texto recomiendan el uso del método científico pero contrariamente, el trabajo de Ehrenhaft (que siguió el método científico estrictamente) ha sido ignorado u olvidado.

LAS LEYES DE LAS PROPORCIONES DEFINIDAS Y MÚLTIPLES

En un trabajo realizado por Niaz (2001b), sobre la importancia de las leyes de proporciones definidas y múltiples, en la enseñanza de la química, se evaluaron 27 libros de texto de química general. Los resultados mostraron que la mayoría de los textos analizados, presentan dichas leyes desde una perspectiva inductivista, caracterizada por la secuencia: Hallazgos experimentales, seguido por la formulación de las leyes de proporciones definidas y múltiples y finalmente postulación de la teoría atómica de Dalton para explicar las leyes. Muy pocos libros interpretan las leyes desde una perspectiva Lakatosiana, la cual claramente muestra la carencia de aspectos históricos. Por ejemplo, contrariamente a la tesis de los inductivistas, la ley de proporciones múltiples no fue inducida a partir de datos experimentales, sino derivada de la teoría atómica de Dalton. La mayoría de los libros de texto no presentan las leyes de las proporciones definidas y múltiples desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia, ignorando el origen histórico y controversial de estas leyes (Niaz, 2001b).

Es importante mencionar que los hallazgos empíricos son importantes, pero es más importante establecer un marco teórico para entender la relación entre hallazgos empíricos, leyes y teorías. No se necesita una simple descripción de los hallazgos experimentales, sino una epistemología de la ciencia (Niaz, 1999).

TEORÍA CINÉTICA

Niaz (2000b), diseñó un estudio en el cual se estructuró un marco teórico para evaluar la forma en que los libros describen la teoría cinética molecular de los gases. Para ello se basó, principalmente, en las interpretaciones de la obra de Maxwell y Boltzmann, realizadas por historiadores y filósofos de la ciencia. Se evaluaron 22 libros de texto de química general. Los resultados obtenidos indicaron que la mayoría de los textos carece de una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia.

Dada la importancia de las suposiciones para sustentar el marco teórico, como una metodología para ayudar a los científicos a construir una serie de teorías sucesivas, merece señalarse que de los 22 libros analizados, 17 simplemente mencionan en una palabra que los postulados de la teoría cinética fueron suposiciones y dos de los textos ni siquiera mencionan la palabra suposiciones, mientras que únicamente tres libros describen satisfactoriamente las suposiciones que guiaron a Maxwell, es decir, su marco teórico (Niaz, 2000b). En este trabajo de Niaz se vuelve a poner de manifiesto cómo en los libros de texto, se ignora que la controversia y rivalidad entre diferentes programas de investigación son importantes para el avance de la ciencia. De los 22 libros analizados, 19 ni siquiera mencionan los antecedentes históricos que dieron lugar a la rivalidad existente entre los programas de investigación de la teoría cinética y la termodinámica química. Ninguno de los libros describe esta rivalidad satisfactoriamente y únicamente tres libros hacen una breve mención.

Muy pocos textos presentan el desarrollo de la teoría cinética molecular de los gases en un contexto histórico. Aparentemente los libros ignoran los detalles históricos, no debido a limitaciones de espacio sino a la carencia de un marco teórico basado en una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia (Niaz, 2000b). Es importante señalar que no pretendemos que los libros reflejen todos los detalles inherentes a la historia y filosofía de la ciencia, pero es sumamente importante que tanto los profesores como los libros de texto transmitan claramente el contexto histórico en el cual se desarrollaron los hechos y reflejen las interpretaciones de los eventos por los filósofos de la ciencia, lo que facilitaría la comprensión conceptual por parte de los estudiantes y despertaría un mayor interés en la ciencia.

ENLACE COVALENTE

Tal como hemos venido planteando, parece haber consenso en que los libros de texto pueden facilitar el entendimiento conceptual, si los estudiantes están familiarizados con teorías rivales en un contexto de la historia y filosofía

de la ciencia (Niaz, 2001c). Sin embargo, seguimos encontrando que los libros de texto carecen de esta perspectiva.

La idea de la compartición de electrones (enlace covalente), produjo grandes dificultades conceptuales para los científicos, en vista de que tuvo que competir con el paradigma dominante del enlace iónico. Una importante implicación, puesta de manifiesto en este estudio (Niaz, 2001c), que puede ser relevante para futuros libros de texto, es que la teoría de Lewis de la compartición del par de electrones, cuando se propuso en 1916 entró en conflicto con el entonces paradigma dominante del enlace iónico basado en la transferencia de electrones. Este conflicto produjo una rivalidad entre las dos formas de conceptualización en la formación del enlace y no fue hasta 1920, que la teoría de Lewis, de la compartición de electrones, fue aceptada.

En un intento para simplificar el tópico, la mayoría de los textos presentan reglas para escribir los diagramas de Lewis para enlaces covalentes, que son memorizadas por los estudiantes. Por el contrario, diferentes investigadores en educación en química, han mostrado un gran interés en enfatizar la comprensión conceptual de cada uno de los tópicos estudiados, en lugar de memorización de algoritmos (Nurrenbern & Pickering, 1987; Niaz & Robinson, 1992; Gabel, 1993; Mason et al., 1994; Niaz, 1995; Noh & Scharmann, 1997; Niaz, 1998b).

Continuando la evaluación de los libros de química general Niaz (2001c), propone el desarrollo de una perspectiva basada en consideraciones de la historia y filosofía de la ciencia, para entender la postulación de Lewis del enlace covalente. Para ello, formuló cuatro criterios que fueron utilizados para evaluar 27 libros de texto de química general. De los 27 libros analizados, únicamente uno menciona y ninguno describe satisfactoriamente que la idea de Lewis de la compartición de electrones (enlace covalente) había competido con la transferencia de electrones (enlace iónico).

El origen controversial del enlace covalente y su rivalidad con el enlace iónico, ofrece una buena oportunidad para ilustrar cómo el progreso en la ciencia está basado en controversias y resulta muy difícil cambiar las teorías o formas de pensamiento ya establecidas (NC_0), y que las teorías científicas son tentativas (NC_1).

La evolución de la teoría del enlace covalente, puede ser un buen ejemplo de la tentatividad de la ciencia (NC_1). Lewis presentó en 1916, lo que se ha considerado el primer modelo satisfactorio del enlace covalente, basado en el átomo cúbico. Posteriormente, Lewis reconoce que la estructura cúbica no puede representar el triple enlace y sugiere reemplazarlo por el átomo tetraédrico. Lewis asumió

por muchos años que, si los electrones están apareados en el átomo magnéticamente, es fácil entender cómo dos electrones desapareados en átomos diferentes pueden acoplarse magnéticamente y formar el enlace no polar. El problema de esta aseveración es que la interpretación inductivista considera el principio de exclusión de Pauli, como la explicación teórica e ignora el hecho, que el átomo cúbico de Lewis también fue una explicación teórica y crucial para su posterior explicación de la compartición de electrones. Posteriormente, la teoría cuántica suministró apoyo adicional a esa teoría, cuando Pauli introdujo su principio de exclusión. Por todo lo expuesto podemos decir que el progreso científico está caracterizado por una serie de teorías o modelos que varían en su capacidad para explicar los hallazgos experimentales. La ciencia no necesariamente progresa a partir de hallazgos experimentales a leyes científicas y después a explicaciones teóricas. En otras palabras, las teorías en la ciencia son tentativas.

En el estudio planteado por Niaz (2001c), únicamente un texto menciona y tres describen satisfactoriamente el átomo cúbico de Lewis.

CONCLUSIONES

La mayoría de los textos analizados (todos publicados en EE.UU.) en los diferentes estudios, presentan la historia de la ciencia como una simple cronología, anécdotas o curiosidades, e ignoran la importancia de una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia, lo que podría facilitar la comprensión conceptual en los estudiantes.

En general, este artículo muestra que los diferentes tópicos de los programas de química general, pueden presentarse desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia. Se pone además de manifiesto, que aunque los detalles experimentales son importantes, el marco teórico en el cual se desarrollan los experimentos, es aún más importante. Muchas veces los detalles experimentales no son suficientes, ya que hay casos en que dos científicos realizan, por separado, los mismos experimentos, obtienen resultados similares y sin embargo plantean interpretaciones distintas. A menudo las teorías científicas progresan sobre fundaciones inconsistentes y la discrepancia entre diferentes teorías produce el progreso científico.

A partir de los resultados obtenidos de los libros analizados en los diferentes tópicos, podemos inferir que, aparentemente, los educadores olvidaron una lección importante de la historia y filosofía de la ciencia: Las teorías científicas son tentativas (Niaz, 2001a). Este trabajo pone de manifiesto, la importancia de la naturaleza de la ciencia para la presentación de los diferentes tópicos en los textos

de ciencias. Es conveniente señalar que hemos ilustrado la importancia solo de algunos aspectos de la Naturaleza de la Ciencia (NC) y se requerirán otros estudios para ilustrar los demás.

Finalmente, es importante señalar que la perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia trata de ceñirse a los hechos históricos, siendo por lo tanto una expresión más fidedigna del desarrollo científico. Al contrario, la perspectiva de los textos de ciencias, muchas veces llega a distorsionar estos hechos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, F. & LEDERMAN, N. 2000. Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. *Int. J. Sci. Ed.* 22, 665-701.
- BLANCO, R. & NIAZ, M. 1997. Epistemological beliefs of students and teachers about the nature of science: From "baconian inductive ascent" to the "irrelevance" of scientific laws. *Inst. Sci.* 25, 203-231.
- BLANCO, R. & NIAZ, M. 1998. Baroque tower on a gothic base: A Lakatosian reconstruction of students' and teachers' understanding of structure of the atom. *Sci. & Ed.* 7, 327-360.
- BRUSH, S. G. 1978. Why chemistry needs history $\frac{3}{4}$ and how it can get some. *J. College Sci. Teach.* 7, 288-291.
- CARTWRIGHT, N. 1983. *How the laws of physics lie.* Clarendon Press, Oxford.
- CHINN, C. A. & BREWER, W. F. 1993. The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Rev. Ed. Res.* 63, 1-49.
- DUSCHL, R. A. 1994. Research on the history and philosophy of science. In D. L. Gabel (Ed.). *Handbook Res. Sci. Teach.* MacMillan, New York, pp. 443-465.
- FEYERABEND, P. K. 1970. Against method: Outline of an anarchist theory of knowledge. In: M. Radner y S. Winokur (Eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (Vol. IV, pp. 17-130). University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- GABEL, D. L. 1993. Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *J. Chem. Ed.* 70, 193-194.

- GIERE, R. 1999. *Science without laws*. University of Chicago Press, Chicago.
- GILBERT, J. K. & SWIFT, D. J. 1985. Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs. *Sci. Ed.* 69, 681-696.
- GLASERSFELD, E. VON. 1989. Cognition, construction of knowledge and teaching. *Synthese* 80, 121-140.
- HANSON, N. R. 1958. *Patterns of discovery*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- HAUSER, E. A. 1951. The lack of natural philosophy in our education. *J. Chem. Ed.*, 28, 492-494.
- HOLTON, G. 1978. Subelectrons, presuppositions and the Millikan-Ehrenhaft dispute. *Hist. Stud. in the Phys. Sci.* 9, 161-224.
- HOLTON, G. 1986. *The advancement of science and its burdens*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- JENSEN, W. B. 1998. Logic, history, and the chemistry textbook. *J. Chem. Ed.* 75, 817-828.
- KELLY, G. J. 1997. Research traditions in comparative context: A philosophical challenge to radical constructivism. *Sci. Ed.* 81, 355-375.
- KAUFFMAN, G. B. 1989. History in the chemistry curriculum. *Interchange*, 20(2), 81-94.
- KILBORNE, B. 1992. Positivism and its vicissitudes: The role of faith in the social sciences. *J. Hist. Behav. Sci.* 28, 352-370.
- KITCHER, P. 1993. *The advancement of science*. Oxford University Press, New York.
- KOERTGE, N. 2000. 'New age' philosophies of science : Constructivism, feminism and postmodernism. *British J. Phil. Sci.* 51, 667-683.
- KUHN, T. S. 1962. *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.
- KUHN, T. S. 1970. *The structure of scientific revolutions*, 2 ed. University of Chicago Press, Chicago.
- LAKATOS, I. 1970. Falsification and methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 91-195.
- LAUDAN, L. 1977. *Progress and its problems*. University of California Press, Berkeley, CA.
- LAUDAN, L. 1996. *Beyond positivism and relativism*. Westview Press, Boulder, CO.
- LINN, M. C. & SONGER, N. B. 1991. Teaching thermodynamics to middle school students: What are appropriate cognitive demands?. *J. Res. Sci. Teach.* 28, 885-918.
- MASON, D., SHELL, D. F. & CRAWLEY, F. E. 1994. Differences in problem solving by nonscience majors in introductory chemistry on paired algorithmic-conceptual problems. *J. Res. Sci. Teach.* 34, 905-923.
- MATTHEWS, M. R. 1994. *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Routledge, New York.
- MATTHEWS, M. R. 2000. *Time for science education*. Plenum, New York.
- MCCOMAS, W. F., ALMAZROA, H. & CLOUGH, M. P. 1998. The role and character of the nature of science in science education. *Sci. & Ed.* 7, 511-532.
- MONK, M. & OSBORNE, J. 1997. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Sci. Ed.* 81, 405-424.
- MOORE, J. W. 1998. Editorial: History, chemistry, and a longer view. *J. Chem. Ed.* 75(10), 1199.
- NIAZ, M. 1993a. "Progressive problemshifts" between different research programs in science education: A Lakatosian perspective. *J. Res. Sci. Teach.* 30, 757-765.
- NIAZ, M. 1993b. Competing research programs in science education: A Lakatosian interpretation. *Interchange* 24, 181-190.
- NIAZ, M. 1994a. Más allá del positivismo: Una interpretación Lakatosiana de la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 12, 97-100.
- NIAZ, M. 1994b. Enhancing thinking skills: Domain specific/domain general strategies – A dilemma for science education. *Inst. Sci.* 22, 413-422.
- NIAZ, M. 1995. Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation. *Sci. Ed.* 79, 19-36.

- NIAZ, M. 1997. Metodología de la investigación en las ciencias sociales y naturales: Una aproximación. *Acta Cient. Venez.* 48, 5-8.
- NIAZ, M. 1998a. From cathode rays to alpha particles to quantum of action: A rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Sci. Ed.* 82, 527-552.
- NIAZ, M. 1998b. A Lakatosian conceptual change teaching strategy based on student ability to build models with varying degrees of conceptual understanding of chemical equilibrium. *Sci. & Ed.* 7, 107-127.
- NIAZ, M. 1999. Should we put observations first? *J. Chem. Ed.* 76, 734.
- NIAZ, M. 2000a. The oil drop experiment: A rational reconstruction of the Millikan-Ehrenhaft controversy and its implications for chemistry textbooks. *J. Res. Sci. Teach.* 37(5), 480-508.
- NIAZ, M. 2000b. A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. *Inst. Sci.* 28, 23-50.
- NIAZ, M. 2001a. Understanding nature of science as progressive transitions in heuristic principles. *Sci. Ed.* 85, 684-690.
- NIAZ, M. 2001b. How important are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry? – A history and philosophy of science perspective. *Sci. & Ed.* 10, 243-266.
- NIAZ, M. 2001c. A rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. *Int. J. Sci. Ed.* 23, 623-641.
- NIAZ, M. 2001d. Constructivismo social: ¿panacea o problema?. *Interciencia* 26, 185-189.
- NIAZ, M. & ROBINSON, W. R. 1993. Teaching algorithmic problem solving or conceptual understanding: role of developmental level, mental capacity, and cognitive style. *J. Sci. Ed. & Tech.* 2, 407-416.
- NIAZ, M. & RODRÍGUEZ, M. A. 2000. Teaching chemistry as rhetoric of conclusions or heuristic principles — A history and philosophy of science perspective. *Chem. Ed.: Res. Pract. in Europe (CERAPIE)* 1(3), 315-322.
- NIAZ, M. & RODRÍGUEZ, M. A. 2001. Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already 'inside' chemistry?. *Chem. Ed.: Res. Pract. in Europe (CERAPIE)* 2(2), 159-164.
- NOH, T. & SCHARMANN, L. C. 1997. Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *J. Res. Sci. Teach.* 34, 199-217.
- NURRENBERN, S. C. & PICKERING, M. 1987. Concept learning versus problem solving: is there a difference. *J. Chem. Ed.* 64, 508-510.
- PASCUAL-LEONE, J. 1976. A view of cognition from a formalist's perspective. In: K. F. Riegel & J. A. Meacham (Eds.), *The developing individual in a changing world*. Mouton, The Hague, Holanda, vol. I, pp. 89-100.
- PIAGET, J. 1971. *Genetic epistemology*. Norton, New York.
- PIAGET, J. 1985. *The equilibration of cognitive structures: The central problem of intellectual development*. University of Chicago Press, Chicago.
- PIAGET, J. & GARCÍA, R. 1989. *Psychogenesis and the history of science*. Columbia University Press, New York.
- POPPER, K. 1959. *The logic of scientific discovery*. Hutchinson, London.
- RODRÍGUEZ, M. A. & NIAZ, M. 1999. Conceptualización de la estructura atómica en estudiantes de cursos básicos y de la licenciatura en química. *Paradigma* XX(2), 133-144.
- RODRÍGUEZ, M. A. & NIAZ, M. 2002. How in spite of the rhetoric, history of chemistry has been ignored in presenting atomic structure in textbooks. *Sci. & Ed.* 11, 423-441.
- SHILAND, T. W. 1998. The atheoretical nature of the national science education standards. *Sci. Ed.* 82, 615-617.
- SIEGEL, H. 1978. Kuhn and Schwab on science texts and the goals of science education. *Educat. Theory* 28, 302-309.
- SMITH, M. U. & SCHARMANN, L. C. 1999. Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Sci. Ed.* 83, 493-509.
- STINNER, A. 1992. Science textbooks and science teaching: From logic to evidence. *Sci. Ed.* 76, 1-16.

- TOULMIN, S. 1961. Foresight and understanding. Indiana University Press, Bloomington, In.
- VANFRAASSEN, B. C. 2000. The false hopes of traditional epistemology. *Phil. & Phen. Res.* LX, 253-280.
- WADE, N. 1977. Thomas S. Kuhn: Revolutionary theorist of science. *Science* 197(4299), 143-145.

**REFERENCIAS: TEXTOS DE QUÍMICA
ANALIZADOS**

- ANDER, P. & SONNESSA, A. J. 1968. Principles of Chemistry. Macmillan: New York.
- ANDER, P. & SONNESSA, A. J. 1981. Principles of chemistry, ed., española. Macmillan: New York.
- ANDERSON, C. B., FORD, P. C. & KENNEDY, J. H. 1973. Chemistry: Principles and applications. Heath: Lexington, MA.
- BARROW, G. 1974. General chemistry, ed., española. Wadsworth: Belmont, CA.
- BECKER, R. S. & WENTWORTH, W. E. 1977. General chemistry, ed., española. Houghton Mifflin: Boston.
- BODNER, G. M. & PARDUE, H. L. 1989. Chemistry: An Experimental Science. Wiley: New York.
- BRADY, J. E. & HOLUM, J. R. 1981. Fundamentals of chemistry. Wiley: New York.
- BRADY, J. E. & HUMISTON, G. E. 1996. General chemistry: Principles and structure, ed., española. Wiley: New York.
- BRESCIA, F., ARENTS, J., MEISLICH, H. & TURK, A. 1975. Fundamentals of chemistry: A modern introduction, 2 ed., española. Academic Press: New York.
- BROWN, T. L. & LEMAY, H. E. 1988. Chemistry: The Central Science, 4 ed. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- BROWN, T. L., LEMAY, H. E. & BURSTEN, B. E. 1998. Chemistry: The central science, 7 ed., española. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- BROWN, T. L., LEMAY, H. E. & BURSTEN, B. E. 1997. Chemistry: The central science, 7 ed. Prentice Hall: Englewood Cliffs.
- BURNS, R. A. 1996. Fundamentals of Chemistry, 2 ed., española. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- CHANG, R. 1981. Chemistry. Random House: New York.
- CHANG, R. 1999. Chemistry, 6 ed., española. McGraw-Hill: New York.
- DAUB, G. W. & SEESE, W. S. 1996. Basic Chemistry, 7 ed., española. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- DICKERSON, R. E., GRAY, H. B. & HAIGHT, G. P. 1970. Chemical principles. W. A. Benjamin: New York.
- DICKERSON, R. E., GRAY, H. B., DARENSBOURG, M. Y. & DARENSBOURG, D. J. 1984. Chemical principles, 4 ed. Benjamin/Cummings: Menlo Park, CA.
- EBBING, D. D. 1997. General chemistry, 5 ed., española. McGraw-Hill: New York.
- HEIN, M. 1990. Foundations of college chemistry, ed. española. Brooks/Cole: Belmont, CA.
- HEIN, M. & ARENA, S. 1997. Foundations of College Chemistry, ed., española. Brooks/Cole: Pacific Grove, CA.
- HOLTZCLAW, H. F. & ROBINSON, W. R. 1988. General chemistry, 8 ed. Heath: Lexington, MA.
- JOESTEN, M. D., JOHNSTON, D. O., NETTERVILLE, J. T. & WOOD, J. L. 1991. World of chemistry. Saunders: Philadelphia.
- KEENAN, C. W., WOOD, J. H. & KLEINFELTER, D. C. 1976. General college chemistry. Harper & Row: New York.
- LIPPINCOTT, W. T., GARRETT, A. B. & VERHOEK, F. H. 1977. Chemistry, 3 ed. Wiley: New York.
- MAHAN, B. & MYERS, R. J. 1990. University chemistry, 4 ed., española. Addison-Wesley: Wilmington, DE.
- MASTERTON, W. L. SLOWINSKI, E. J. & STANITSKI, C. L. 1985. Chemical principles, 5 ed., española. Saunders: Philadelphia.
- MASTERTON, W. L. SLOWINSKI, E. J. & STANITSKI, C. L. 1989. Chemical principles, 6 ed., española. McGrawHill: New York.
- MORTIMER, C. E. 1983. Chemistry, 5 ed. Wadsworth: Belmont, CA.
- NEWELL, S. B. 1977. Chemistry: An introduction. Little, Brown: Boston.
- OXTOBY, D. W., NACHTRIEB, N. H. & FREEMAN, W. A. 1990. Chemistry: Science of change. Saunders:

- Philadelphia.
- OXTOBY, D. W., NACHTRIEB, N. H. & FREEMAN, W. A. 1994. Chemistry: Science of change. Saunders: Philadelphia.
- PAULING, L. 1977. General chemistry, 10 ed., Spanish. Freeman: San Francisco.
- PETRUCCI, R. H. 1977. General chemistry: Principles and modern applications, ed., española. MacMillan: New York.
- QUAGLIANO, J. V., & VALLARINO, L. M. 1969. Chemistry, 3 ed. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- SEGAL, B. G. 1989. Chemistry: Experiment and theory, 2 ed. Wiley: New York.
- SIENKO, M. J. & PLANE, R. A. 1971. Chemistry, 4 ed. McGrawHill: New York.
- SISLER, H. H., DRESDNER, R. D. & MOONEY, W. T. 1980. Chemistry: A systematic approach. Oxford University Press: New York.
- STOKER, H. S. 1990. Introduction to chemical principles, 3 ed. MacMillan: New York.
- WHITTEN, K. W., GAILEY, K. D. & DAVIS, R. E. 1992. General Chemistry, 3 ed., española. McGraw-Hill: New York.
- WHITTEN, K. W., DAVIS, R. E. & PECK, M. L. 1998. General chemistry, 5 ed., española. McGrawHill: New York.
- WOLFE, D. H. 1988. Introduction to college chemistry. McGraw-Hill: New York.
- ZUMDAHL, S. S. 1990. Introductory chemistry: A foundation. Heath: Lexington, MA.
- REFERENCIAS: TEXTOS DE FÍSICA ANALIZADOS**
- ALONSO, M. & FINN, E. J. 1972. Physics. Addison-Wesley: Reading, MA.
- ARFKEN, G. B., GRIFFING, D. F., KELLY, D. C., & PRIEST, J. 1984. University Physics. Academic Pres : New York.
- ANDERSON, E. E. 1971. Modern physics and quantum mechanics. W. B. Saunders: Philadelphia, PA.
- ARONS, A. B. 1990. A guide to introductory physics teaching. Wiley : New York.
- ARYA, A. P. 1974. Elementary modern physics. Addison-Wesley: Reading, Massachusetts.
- BEISER, A. 1972. Basic concepts of physics, 2 ed. Addison-Wesley: Reading, Massachusetts.
- BLATT, F. J. 1991. Principles of physics, 3 ed., española). Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- BREHM, J. J. & MULLIN, W. J. 1989. Introduction to the structure of matter. A course in modern physics. Wiley: New York.
- BROWN, T. B. (Ed.). 1959. The Lloyd William Taylor Manual of advanced undergraduate experiments in physics. Addison-Wesley: Reading, Massachusetts.
- BUECHE, F. J., & JERDE, D. A. 1995. Principles of Physics, 6 ed. McGraw-Hill: New York.
- CARR, H. Y. & WEIDNER, R. T. 1971. Physics from the ground up. McGraw-Hill: New York.
- COHEN, R. S. (1976). Physical science. Holt, Rinehart and Winston: New York.
- COOPER, L. N. 1970. An introduction to the meaning and structure of physics, short edition. Harper & Row: New York.
- CUTNELL, J. D., & JOHNSON, K. W. 1998. Physics, 4 ed. Wiley: New York.
- EISBERG, R. M. 1973. Fundamentals of modern physics, 1 ed. Wiley: New York.
- EISBERG, R. M., & LERNER, L. 1984. Physics: Foundations and applications, Vol. II, ed., española. McGraw-Hill: New York.
- FISHBANE, P. M., GASIOROWICZ, S., & THORNTON, S. T. 1994. Physics for scientists and engineers Vol. II, ed., española. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- GAMOW, G., & CLEVELAND, J. 1975. Physics-foundations and frontiers, 2 ed., española. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- GIANCOLI, D. C. 1997. Physics, principles with applications, 4 ed., española. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- GREENWOOD, M. S. 1983. Physics. The Excitement of Discovery. Wadsworth Publishing Company: Belmont, California.

- HAKEN, H., & WOLF, H. C. 1994. The physics of atoms and quanta. Introduction to experiments and theory, 4 ed. Springer-Verlag: New York.
- HALLIDAY, D., & RESNICK, R. 1971. Physics for students of science and engineering, Part. II, 2 ed., española. Wiley: New York.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R., & KRANE, K. S. 1994. Physics. Vol. 2, 4 ed., española. Wiley: New York.
- HARNWELL, G. P., & LIVINGGOOD, J. J. 1933. Experimental atomic physics. McGraw-Hill : New York.
- HULSIZER, R. I., & LAZARUS, D. 1977. The world of physics. Addison-Wesley: Menlo Park, California.
- KRANE, K. S. 1996. Modern physics, 2 ed. Wiley: New York.
- LEA, S. M., & BURKE, J. R. 1999. Physics: The nature of things. Vol. 2, ed., española. Brooks: Belmont, CA.
- MARION, J. B. 1981. Physics in the modern world, 2 ed. Academic Press: New York.
- MCGERVEY, J. D. 1975. Introduction to modern physics, 2 ed., española. Academic Press: New York.
- OHANIAN, H. C. 1987. Modern physics. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- OLENICK, R. P., APOSTOL, T. M., & GOODSTEIN, D. L. 1986. Beyond the mechanical universe. From electricity to modern physics. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- PETLEY, B. W. 1985. The fundamental physical constants and the frontier of measurement. Adam Hilger Ltd: Boston.
- ROHLF, J. W. 1994. Modern physics from a to Z0. Wiley: New York.
- SEARS, F. W., & ZEMANSKY, M. W. (1977). University physics, 2 ed., española. Addison-Wesley: Reading, Massachusetts.
- SEARS, F. W., ZEMANSKY, M. W., & YOUNG, H. D. (1988). University Physics, 6ED., española. Addison-Wesley: Reading, Massachusetts.
- SEGAL, B. G. 1989. Chemistry: Experiment and theory, 2 ed. Wiley: New York.
- SERWAY, R. A. 1997. Physics for scientists & engineers with modern physics, ed., española. McGraw-Hill: New York.
- THUMM, W., & TILLEY, D. E. 1970. Physics: A modern approach. Cummings Publishing Company: Menlo Park, California.
- TILLEY, D. E., & THUMM, W. 1976. Physics for college students, ed., española. Cummings Publishing Company: Menlo Park, California.
- TIPLER, P. A. 1978. Physics, ed., española. Worth Publishers: New York.
- TIPPINS, P. E. 1992. Applied physics. Vol.2 , ed., española. McGraw-Hill: New York.
- WILLIAMS, D., & SPANGLER, J. 1981. Physics for science and engineering. D. Van Nostrand Company: New York.