

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

EL EXPERIMENTO DE RUTHERFORD EN EL CONTEXTO DE LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y SUS IMPLICACIONES PARA LOS TEXTOS DE FÍSICA.

MARÍA A. RODRÍGUEZ

MANSOOR NIAZ

Universidad de Oriente, Departamento de Química.
Apartado Postal 90, Cumaná, Estado Sucre, 6101A, Venezuela.
Correo electrónico: mniaz@sucre.udo.edu.ve

RESUMEN

En este trabajo se ha evaluado cómo 35 textos de física general con nivel universitario, presentan el experimento de Rutherford en el contexto de la historia y filosofía de la ciencia. En general, los textos evaluados ignoran la importancia de la rivalidad existente entre dos marcos teóricos en conflicto, como fueron los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, (criterio 1). Muy pocos libros mencionan que el argumento crucial a favor del modelo de Rutherford no fue el gran ángulo de desviación de las partículas alfa, sino que, únicamente 1 en 20.000 partículas se desvían con ángulos grandes (criterio 2). En general, ignoran la controversia con respecto a la hipótesis propuesta por Thomson de dispersiones múltiples, en contraposición con la dispersión simple propuesta por Rutherford (criterio 3), para explicar los grandes ángulos de desviación de las partículas alfa. Muy pocos textos presentan el trabajo de Thomson y Rutherford en un contexto histórico y carecen de una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia.

ABSTRACT

This article has evaluated the presentation of Rutherford's experiment in 35 university level general physics textbooks, within a History and Philosophy of Science context. In general the textbooks ignore the importance of rivalry between two conflicting frameworks, as for example Thomson and Rutherford models of the atom (criterion 1). Very few textbooks mention that the crucial argument in favor of the Rutherford model was not the large angle of deflection of alpha particles but rather the finding that only 1 in 20.000 particles deflected through large angles (criterion 2). Again, the textbooks ignore the controversy with respect to Thomson's hypothesis of compound scattering in contraposition to Rutherford's hypothesis of single scattering, in order to explain the large angle deflections of alpha particles (criterion 3). Very few textbooks present the work of Thomson and Rutherford in a historical context and lack a History and Philosophy of Science perspective.

INTRODUCCIÓN.

Recientes investigaciones en la enseñanza de las ciencias han reconocido no solamente la

importancia de la historia y filosofía de la ciencia, HPS (Duschl, 1994; Hodson, 1988;

Matthews, 1994; Niaz, 1993, 1998; Scerri, 2000) sino también sus implicaciones para los libros de ciencia (Matthews, 1994; Niaz, 1998, 1999, 2000; Niaz & Rodríguez, 2001).

En años recientes la inclusión sistemática de la historia y filosofía de la ciencia (HPS) en la educación de la ciencia ha sido vista como una forma de acercarse más al proceso y conducción de la ciencia (Allchin, 1995; Hodson, 1985; Justi and Gilbert, 2000; Matthews, 1994; Monk and Osborne, 1997). Uno de los aspectos importantes de la historia y filosofía de la ciencia es el concepto de 'Principio Heurístico', introducido por Schwab (1974), que nos dice, cómo los científicos diferencian entre los aspectos experimentales y sus interpretaciones, en el desarrollo de la ciencia.

A partir de 1980, el constructivismo en la educación de la física señala el uso de la historia de la física como una fuente de inspiración para el diseño instruccional, lo que facilitaría el cambio conceptual. La historia de la física puede proveer a los investigadores de información significativa acerca de cómo un concepto científico puede ser construido, cambiado y difundido (Seroglou and Koumaras, 2001). Varios investigadores señalan que, el uso de la historia de la física en el salón de clase puede facilitar al estudiante cómo establecer la relación entre observación y teoría y suministrarle la oportunidad para conocer cómo los científicos tratan las teorías alternativas y/o los métodos para elegir la más apropiada y de esta manera llegar a conclusiones (Brush, 1989; Seroglou and Koumaras, 2001; Whiteley, 1993)

Según Justi y Gilbert (2000), "si los estudiantes entendieran cómo evoluciona el conocimiento científico y cómo el contexto histórico, filosófico y tecnológico influye en su desarrollo, entonces adquirirían un punto de vista más comprensivo y como consecuencia estarían más involucrados en el aprendizaje de la ciencia" (p. 993). Tal como Brush (2000) señala, "... nosotros aprendimos, en un seminario de Kuhn, que la historia de la ciencia debe estudiarse por la lectura cuidadosa de las fuentes originales" (p. 40). En este contexto es interesante señalar lo dicho por Heilbron (1981a), "Igual que las teorías en física, las interpretaciones históricas cambian en el tiempo, algunas veces debido a nuevos descubrimientos y otras veces a nuevos puntos de vista ... Los historiadores necesariamente tienen un punto de vista distinto del de los físicos, nosotros tenemos un gran interés en lo que precisamente los físicos

quieren olvidar, los diferentes pasos intermedios y los senderos falsos" (p. 223). Más adelante continua diciendo "... muchas veces el orden en que se presentan los hechos es el inverso del orden de su descubrimiento y un ejemplo de los obstáculos colocados por los físicos en el camino de los historiadores" (Heilbron, 1981a, p.227).

El concepto de 'átomo' acompañado de la teoría atómica de la materia en todas sus ramificaciones, es una de las más extraordinarias e influyentes creaciones científicas de la mente humana, pero esa creación no surgió de la nada, no fue una repentina idea, sus orígenes vienen de la antigua Grecia y puede únicamente ser entendida en términos de su contexto histórico (Roller, 1981).

El trabajo de Bohr-Rutherford fue un triunfo del programa de J. J. Thomson, quien desde 1903 había estado trabajando en las propiedades de un modelo del átomo que tuvo una gran aceptación. El modelo de Thomson se distinguió de los anteriores, en su capacidad para ser desarrollado, fue el primer modelo atómico que podía refinarse mediante cálculos y experimentos. Sin embargo, este modelo fue considerado por Rutherford en 1914 como útil únicamente para un museo de curiosidades científicas. Podía entonces ser descartado; basándose en que Rutherford había encontrado un sustituto más útil (Heilbron, 1981a).

El desarrollo del átomo Bohr-Rutherford es uno de los pocos episodios en la historia de la física del siglo xx que ha recibido la atención constante de los historiadores (Heilbron, 1981a). A pesar de ello como el mismo Heilbron (1981b) señala, el modelo atómico de Rutherford, al año de ser propuesto, no había atraído casi la atención. Ninguna reseña apareció en las revistas especializadas, como *Nature*, *Revue Scientifique* y otras en los años 1911-1913, únicamente una simple mención en *Comptes Rendus*.

Heilbron (1981a) describe como Thomson explica la dispersión de partículas, con su modelo de carga uniforme. En su teoría de la dispersión de partículas beta, Thomson supuso que la desviación de una partícula al pasar a través de un átomo es el resultado de muchos encuentros con electrones atómicos y en consecuencia la dispersión observada se produce de la integración de muchas pequeñas desviaciones.

Esta teoría de la dispersión múltiple debería también funcionar para los datos de Rutherford

de las partículas alfa. Sin embargo, como el mismo Heilbron (1981b) señala, Rutherford se convenció que esa teoría no era aplicable al experimento de Geiger y Marsden, el cual requería de una nueva teoría y un nuevo átomo. Un programa de investigación tiene éxito si conduce a un cambio progresivo de problemática; fracasa si conduce a un cambio regresivo (Lakatos, 1978).

Basándonos en la perspectiva histórica previa, se evaluará el modelo del átomo de Rutherford en el contexto de la historia y filosofía de la ciencia y sus implicaciones para los libros de física. Para ello adaptaremos los criterios utilizados por Niaz (1998) para evaluar textos de química.

CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL MODELO DEL ÁTOMO DE RUTHERFORD EN LOS LIBROS DE FÍSICA.

Se utilizará la siguiente clasificación para evaluar los textos:

- Satisfactorio (S): El tratamiento del texto se considerará satisfactorio si el marco teórico de los modelos del átomo, en competencia, se describe brevemente.

- Menciona (M): Una simple mención del marco teórico en conflicto o controversia sin detalles.

- No menciona (N): No menciona el marco teórico en conflicto.

- Raya (-): El texto no trata el tema.

R1- *Átomo nuclear: Señala que existieron dos modelos en disputa -el del "budín de pasas" y el del átomo con un núcleo en su centro.* Los experimentos de Rutherford con partículas alfa y el modelo del átomo nuclear resultante compitió con un marco teórico rival, el modelo del átomo de Thomson (nombrado como "puding de pasas" en la mayoría de los libros). La controversia existente se puso de manifiesto, entre otras fuentes, en la correspondencia (2 de febrero de 1914) enviada por Rutherford a Schuster (Secretario de la Royal Society): "... Yo propuse puntos de vista sobre los cuales Thomson es, o pretende ser, escéptico. Al mismo tiempo pienso que si él no hubiese propuesto su propio modelo, hace tiempo se hubiese dado cuenta de toda la fuerte evidencia en su contra. Si él tiene un apropiado espíritu científico, no veo por qué se mantiene alejado, debería tratar de acercarse". (reproducido en Wilson, 1983, p. 338).

R2- *La probabilidad de grandes desviaciones es excesivamente pequeña debido a que el átomo es el asiento de un intenso campo eléctrico, a consecuencia de que el diámetro del núcleo es despreciable respecto al tamaño del átomo.* El argumento crucial que decidió de una vez a favor del modelo de Rutherford, no fue el gran ángulo de desviación de las partículas alfa (un hallazgo importante) sino el conocimiento de que 1 en 20.000 partículas se desviaba a través de grandes ángulos. Un aspecto de los experimentos de Rutherford que merece más atención es que únicamente una fracción muy pequeña de partículas alfa se desvían a través de grandes ángulos. Además basado en la teoría de la probabilidad, Rutherford mostró que: a) la posibilidad de que una partícula alfa sea desviada a través de grandes ángulos era sumamente pequeña; y b) la probabilidad de que una partícula alfa experimente un segundo impacto era muy pequeña. (para más detalles ver, Wilson, 1983, p. 290).

R3- *Dispersión simple/compuesta de partículas alfa: Se refiere a la rivalidad entre el modelo nuclear de Rutherford y el modelo de Thomson (distribución uniforme de masa y carga).* Para mantener su modelo del átomo y explicar los grandes ángulos de desviación de las partículas alfa, Thomson propuso la hipótesis de dispersiones compuestas (multitud de pequeñas dispersiones). La rivalidad entre la hipótesis de Rutherford de dispersión simple en un solo encuentro y la hipótesis de Thomson de dispersión compuesta dio lugar a una disputa entre los proponentes de ambas hipótesis. Crowther (1910), colega de Thomson, publicó hallazgos experimentales que suministraron evidencia para la hipótesis de Thomson (1910) de la dispersión compuesta de las partículas alfa. Esto, aparentemente, forzó a Rutherford, Marsden y Geiger a realizar más experimentos antes de enfrentar el reto de Thomson y sus colegas. Es importante señalar que Rutherford pensó que Crowther (1910), había manipulado los datos para ajustarlos al modelo de Thomson (Wilson, 1983, p. 300).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se evaluaron 35 textos de física general con nivel universitario. La Tabla 1 muestra que únicamente un texto menciona (M) que el modelo de Rutherford del átomo nuclear compitió con un modelo rival, el modelo del átomo de J.J. Thomson (criterio R1). Ninguno de los textos lo describe satisfactoriamente (S). El

N°	Textos	Criterios*		
		R1	R2	R3
1	Alonso & Finn (1972)	N	N	N
2	Arfken et al. (1984)	N	M	N
3	Arya (1974)	N	N	N
4	Beiser (1972)	N	N	N
5	Blatt (1991)	N	N	N
6	Brehm & Mullin (1989)	N	S	N
7	Bueche & Jerde (1995)	N	N	N
8	Cohen (1976)	M	N	N
9	Cutnell & Johnson (1999)	N	N	N
10	Eisberg (1973)	N	S	N
11	Eisberg & Lerner (1984)	N	M	N
12	Fishbane et al. (1994)	N	N	N
13	Gamow & Cleveland (1975)	N	N	N
14	Giancoli (1997)	—	—	—
15	Haken & Wolf (1994)	N	N	N
16	Halliday & Resnick (1971)	N	N	N
17	Halliday et al. (1994)	N	S	N
18	Hulsizer & Lazarus (1977)	N	N	N
19	Jones & Childers (1990)	N	M	N
20	Krane (1996)	N	N	S
21	Marion (1981)	N	N	N
22	McGervey (1975)	N	M	M
23	Olenick, et al. (1986)	N	N	M
24	Rohlf (1994)	N	M	N
25	Sandin (1989)	N	N	N
26	Sears & Zemansky (1977)	N	N	N
27	Sears, et al. (1988)	N	N	N
28	Sears, et al. (1996)	N	N	N
29	Serway (1997)	N	N	N
30	Thumm & Tilley (1970)	N	M	N
31	Tilley & Thumm (1976)	N	M	N
32	Tipler (1978)	N	N	N
33	Williams & Spangler (1981)	N	N	N
34	Wilson (1996)	N	N	N
35	Zafiratos (1976)	N	M	N

*Criterios: R1: el átomo nuclear de Rutherford vs. el modelo atómico de Thomson;
 R2: grandes ángulos de desviación vs. desviación de 1 en 20.000 partículas;
 R3: dispersión simple/compuesta de partículas alfa.

Tabla 1: Evaluación de los libros de física desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia.

siguiente es un ejemplo de mención:

En el modelo de Thomson del "puding de pasas" los electrones están dispersos a través de una esfera difusa de carga positiva. En el modelo nuclear del átomo, los electrones circulan alrededor de un pequeño núcleo positivo de forma similar a los planetas alrededor del sol. Tal átomo, sin embargo, no debería ser estable

de acuerdo a las leyes de la física del siglo XIX (Cohen, 1976, p. 233).

De los 35 textos evaluados, 8 mencionan (M) que el argumento crucial a favor del modelo de Rutherford no fueron los grandes ángulos de desviación de las partículas alfa, sino que únicamente 1 en 20.000 partículas se desvían con ángulos grandes (criterio R2). Tres libros de

texto lo describen satisfactoriamente (S). A continuación presentaremos un ejemplo de una descripción satisfactoria:

Si bien la dispersión de muchas de las partículas alfa fue de ángulos pequeños, como lo predice nuestro cálculo aproximado, una partícula ocasional, quizás 1 en 104, se dispersaba en un ángulo tan grande que su movimiento se invertía. Tal resultado es en verdad sorprendente si aceptamos el modelo de Thomson para el cual hemos estimado que la desviación máxima es de unos $0,02^\circ$ (Halliday et al., 1994, p. 57).

Dos libros mencionan (M) y únicamente uno describe satisfactoriamente (S) la rivalidad de dos marcos teóricos en conflicto (criterio R3). La hipótesis de Rutherford de dispersión simple y la hipótesis de Thomson de dispersión compuesta, para explicar el experimento de Rutherford de la dispersión de las partículas alfa. El siguiente es un ejemplo de una descripción satisfactoria:

El modelo de Thomson falla para la dispersión cuando examinamos la probabilidad de dispersiones a ángulos grandes. Si en cada dispersión individual se desvía el proyectil en ángulos alrededor de $0,01^\circ$, entonces para obtener proyectiles dispersos a un ángulo total, mayor de 90° deberíamos tener alrededor de 104 dispersiones sucesivas, todas ellas empujarían el proyectil hacia ángulos más grandes. Sin embargo la probabilidad de dispersiones individuales hacia ángulos mayores o menores es igual. Un experimento de este tipo fue realizado por Geiger y Marsden en el laboratorio de Rutherford en 1910, sus resultados mostraron una significativa diferencia entre la dispersión por un modelo de átomo de Thomson y un modelo de átomo nuclear de Rutherford. En el modelo de Thomson el proyectil es dispersado por 'cada' átomo a lo largo de su trayectoria a través del metal, mientras que en el modelo nuclear de Rutherford el núcleo es tan pequeño que la oportunidad del mismo encuentro significativo es pequeño y la oportunidad de más encuentros que con un solo núcleo es despreciable. (Krane, 1996, p. 178).

Los ejemplos presentados nos permiten señalar, que a pesar de no tener una visión explícita de la historia y filosofía de la ciencia, algunos autores hacen uso e incorporan estos elementos. Sin embargo, en general, la mayoría de los textos hacen mucho énfasis en los detalles experimentales basados en observaciones y tien-

den a ignorar los principios heurísticos (Schwab, 1974). Estos resultados son similares a los encontrados por Niaz (1998), en un estudio realizado con textos de química general, aplicando los mismos criterios. Muy pocos de los textos evaluados, presentan el trabajo de Thomson, Rutherford y Bohr dentro de un contexto histórico y carecen de una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia. Sin embargo los textos de física le dedican más atención a ciertos detalles del experimento de Rutherford (R2 y R3), que los libros de química ignoran casi por completo. Por el contrario en el primer criterio (R1), son los libros de química los que hacen un mayor énfasis en la importancia de la competencia entre dos modelos rivales.

En el trabajo de Niaz (1998) ninguno de los textos mencionó (M), ni describió satisfactoriamente la rivalidad existente entre dos marcos teóricos en conflicto, como eran las hipótesis de Thomson y Rutherford con respecto a la dispersión de las partículas alfa (R3). Sin embargo los libros de física le dan mayor importancia a esta controversia, donde dos científicos observan el mismo fenómeno pero sus interpretaciones difieren ya que poseen marcos teóricos distintos. Con respecto al segundo criterio (R2), apenas dos libros de química lo describen satisfactoriamente sin embargo esto mejora notablemente en los textos de física.

En este punto nos planteamos las siguientes interrogantes: ¿Cómo podemos interpretar estos resultados? ¿por qué los químicos y los físicos, aparentemente de forma caprichosa, parecen tener preferencia por unos hechos, mientras ignoran otros? ¿Por qué no se le da en los textos de ciencia la importancia que tiene la historia y la filosofía de la ciencia? Nos atrevemos a pensar que, quizás debido a que los alumnos de química deben tener claro el concepto de distribución electrónica para estudiar reacciones químicas es el criterio R1 el que más puede clarificar esa noción. Por otra parte, los estudiantes de física deben tener clara la noción de masa puntual (criterios R2 y R3) para describir la cinemática y dinámica de cuerpos materiales (Brush, 2000; Holton, 1986; Holton y Brush, 2001; Matthews, 1994, 2000; Niaz, 1998, 1999, 2000). Posiblemente, la mayoría de los autores y programas, tienen una orientación filosófica que se asemeja mucho al positivismo. Quizás se "procesa" demasiado la información para ofrecérsela al estudiante y se ignora selectivamente una serie de acontecimientos, cuyo conocimiento podría ayudar a entender cómo se "construye" el conocimiento científico. La

inclusión de la Historia y Filosofía de la Ciencia haría más críticos a los estudiantes, evitando así repetir los mismos errores con la misma retórica de conclusiones lo que facilitaría la comprensión conceptual. Como Niaz (1998) señala, los estudiantes encontrarían los libros más interesantes, si éstos enfatizaran la competencia entre diferentes marcos teóricos. Según Lakatos (1970), desde una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia, es importante señalar, que tales rivalidades, basadas en interpretaciones alternativas de los datos ha sido encontrada frecuentemente en la historia de la ciencia. Sin embargo los libros de texto carecen de ellas. En este mismo orden de ideas podemos señalar lo dicho por Lakatos (1971, p. 91): "La filosofía de la ciencia sin la historia de la ciencia está vacía; la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia está ciega".

CONCLUSIONES.

En este trabajo se pone nuevamente de manifiesto que la mayoría de los textos de ciencia, carecen de una perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia y que generalmente la enseñanza de la ciencia se convierte en una retórica de conclusiones, ignorándose los principios heurísticos que conllevan a un mejor entendimiento conceptual.

Los textos de física analizados hacen demasiado énfasis en la parte experimental, olvidando que muchos científicos han usado interpretaciones de los experimentos para avanzar en el conocimiento. Aun cuando los detalles experimentales son importantes, el razonamiento teórico en el que se conduce el experimento, es todavía más importante. La mayoría de los textos tiende a ignorar que el progreso científico evoluciona a través de la competencia entre teorías rivales.

REFERENCIAS.

- Allchin, D. (1995) How not to teach history in science. In F. Finley, D. Allchin, D. Rhees, and S. Fifield (eds.), *Proceedings of the Third International History Philosophy, and Science Teaching Conference*, Vol. 1 (Minneapolis: University of Minnesota), 13-22.
- Alonso, M. & Finn, E. J. (1972). *Physics* (Reading, MA: Addison-Wesley).
- Arfken, G. B., Griffing, D. F., Kelly, D. C., &

Priest, J. (1984). *University Physics* (New York: Academic Press).

- Arya, A. P. (1974). *Elementary modern physics* (Reading, MA: Addison-Wesley).

- Beiser, A. (1972). *Basic concepts of physics* (2 ed.) (Reading, MA: Addison-Wesley).

- Blatt, F. J. (1991). *Principles of physics* (3 ed., en español) (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).

- Brehm, J. J. & Mullin, W. J. (1989). *Introduction to the structure of matter. A course in modern physics* (New York: Wiley).

- Brush, S. (1989). 'History of science and science education', in M. Shortlands & A. Warwich (eds.), *Teaching the History of Science* (Blackwell: Oxford).

- Brush, S. G. (2000). Thomas Kuhn as a historian of science. *Science & Education*, 9, 39-58.

- Bueche, F. J., & Jerde, D. A. (1995). *Principles of Physics* (6 ed.) (New York: McGraw-Hill).

- Cohen, R. S. (1976). *Physical Science*. (New York: Holt, Rinehart and Winston).

- Crowther, J. G. (1910). *Proceedings of the Royal society* (vol xxxiv) (London: Royal Society)

- Cutnell, J. D., & Johnson, K. W. (1999). *Physics* (ed. en español) (New York: Wiley).

- Duschl, R. A. (1994). Research on the history and philosophy of science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching*. (New York: MacMillan), 444-465.

- Eisberg, R. M. (1973). *Fundamentals of modern physics* (New York: Wiley).

- Eisberg, R. M., & Lerner, L. (1984). *Physics: Foundations and applications*, Vol. II (ed. en español) (New York: McGraw-Hill).

- Fishbane, P. M., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. T. (1994). *Physics for scientists and engineers* Vol. II (ed. en español). (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).

- Gamow, G., & Cleveland, J. (1975). *Physics-foundations and frontiers* (2 ed., en español). (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).

- Giancoli, D. C. (1997). *Physics, principles with applications* (4 ed., en español) (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).
- Haken, H., & Wolf, H. C. (1994). *The physics of atoms and quanta. Introduction to experiments and theory* (4 ed.) (New York: Springer-Verlag).
- Halliday, D., & Resnick, R. (1971). *Physics.- For students of science and engineering*, Part. II (2 ed., en español) (New York: Wiley).
- Halliday, D., Resnick, R., & Krane, K. S. (1994). *Physics*. Vol. 2 (4 ed., en español). (New York: Wiley).
- Heilbron, J. L. (1981a). Rutherford-Bohr atom. *American Journal of Physics*, 49, 223-231.
- Heilbron, J. L. (1981b). *Historical studies in the theory of atomic structure*. (New York: Arno Press).
- Hodson, D. (1985) Philosophy of Science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- Hodson, D. (1988). Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72, pp. 19-40.
- Holton, G. (1986). *The advancement of science and its burdens*. (Cambridge, UK: Cambridge University Press).
- Holton, G. y Brush S. G. (2001). *Physics, the human adventure*. (Piscataway, NJ: Rutgers University Press).
- Hulsizer, R. I., & Lazarus, D. (1977). *The world of physics*. (Menlo Park, CA: Addison-Wesley).
- Jones, E. R., & Childers, R. L. (1990). *Contemporary College. Physics* (Menlo Park, California: Addison-Wesley).
- Justi, R. & 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), 993-1009.
- Krane, K. S. (1996). *Modern physics* (2 ed.). (New York: Wiley).
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge*. (Cambridge, UK: Cambridge University Press), 91-195.
- Lakatos, I. (1971). History of science and its rational reconstructions. In: R. C. Buck & R. S. Cohen (eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science* (vol. 8) (Dordrecht, The Netherlands: Reidel), 91-136.
- Lakatos, I. (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes*. (Cambridge: Cambridge University Press).
- Marion, J. B. (1981). *Physics in the modern world* (2 ed.). (New York: Academic Press).
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. (New York: Routledge).
- Matthews, M. R. (2000). *Time for science education*. (New York: Kluwer)
- McGervey, J. D. (1975). *Introduction to modern physics* (2 ed., en español). (New York: Academic Press)
- Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.
- Niaz, M. (1993). 'Progressive problemshifts' between different research programs in science education: A lakatosian perspective. *Journal of Research in Science Teaching* 30(7), 757-765.
- Niaz, 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, 527-552.
- Niaz, M. (1999). Should we put observations first? *Journal of Chemical Education*, 76, 734.
- Niaz, M. (2000). The oil drop experiment: A rational reconstruction of the Millikan-Ehrenhaft controversy and its implications for chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(5), 480-508.
- Niaz, M. & Rodríguez, M. A. (2001). Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already 'inside' chemistry?. *Chemistry Education: Research and Practice in*

Europe, 2(2), 159-164.

- Olenick, R. P., Apostol, T. M., & Goodstein, D. L. (1986). *Beyond the mechanical universe. From electricity to modern physics*. (Cambridge, UK: Cambridge University Press).
- Rohlf, J. W. (1994). *Modern physics from alpha to Z⁰*. (New York: Wiley).
- Roller, D. H. D. (1981). Greek atomic theory. *American Journal of Physics*, 49, 206-210.
- Sandin, T. R. (1989). *Modern Physics*. (Reading, MA: Addison-Wesley).
- Scerri, E. R. (2000). The failure of reduction and how to resist disunity of the sciences in the context of chemical education. *Science & Education*, 9, 405-425.
- Schwab, J. J. (1974). The concept of the structure of a discipline. In E. W. Eisner & E. Vallance (Eds.), *Conflicting conceptions of curriculum*. (Berkeley, CA: McCutchan).
- Sears, F. W., & Zemansky, M. W. (1977). *University physics* (2 ed., en español). (Reading, MA: Addison-Wesley).
- Sears, F. W., Zemansky, M. W. & Young, H. D. (1988). *University physics* (6 ed., en español). (Reading, MA: Addison-Wesley).
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D. & Freedman, R. A. (1996). *University physics* (9 ed., en español). (Reading, MA: Addison-Wesley).
- Seroglou, F., & Koumaras, P. (2001). The contribution of the history of physics in physics education: A review. *Science & Education*, 10, 153-172.
- Serway, R. A. (1997). *Physics for scientists & engineers with modern physics* (4 ed., en español). (New York: McGraw-Hill).
- Thomson, J. J. (1910). *Proceedings of the Cambridge Literary and Philosophical society*, 15 (part. 5).
- Thumm, W., & Tilley, D. E. (1970). *Physics: A modern approach*. (Menlo Park, CA: Cummings Publishing Company).
- Tilley, D. E., & Thumm, W. (1976). *Physics for college students* (ed., en español). (Menlo Park, CA: Cummings Publishing Company).
- Tipler, P. A. (1978). *Physics* (ed. en español). (New York: Worth Publishers).
- Whiteley, P. (1993). 'The history of physics – its use in a caribbean physics syllabus'. *School Science Review*, 75, 123-127.
- Williams, D., & Spangler, J. (1981). *Physics for science and engineering*. (New York: D. Van Nostrand Company).
- Wilson, J. D. (1983). *Rutherford: Simple genius*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wilson, J. D. (1996). *College Physics* (2 ed., en español). (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).
- Zafiratos, C. (1976). *Physics*. (New York: Wiley).