

**MODELOS CONCEPTUALES DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS SOBRE LA
ESTRUCTURA ATÓMICA BASADOS EN LOS EXPERIMENTOS DE THOMSON,
RUTHERFORD Y BOHR**

**CONCEPTUAL MODELS OF UNIVERSITY STUDENTS ABOUT ATOMIC STRUCTURE
BASED ON THE EXPERIMENTS OF THOMSON, RUTHERFORD AND BOHR**

Damarys Aguilera, Arelys Maza, Gustavo Liendo, Mansoor Niaz

Departamento de Química, Universidad de Oriente, Apartado Postal 90, Cumaná, Estado Sucre,
Venezuela 6101^a, mniaz@sucre.udo.edu.ve

Resumen

La enseñanza actual del desarrollo de la teoría atómica enfatiza los detalles experimentales y carece de una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia. El objetivo de este estudio es el de investigar la conceptualización que tienen los estudiantes de química general sobre los experimentos de Thomson, Rutherford y Bohr. El estudio se realizó con 83 estudiantes inscritos en tres secciones de Química I, Universidad de Oriente, Venezuela. Después de haber discutido los tres experimentos, los estudiantes respondieron a un cuestionario de seis ítems, tomado de un estudio previo (Blanco y Niaz, 1998). A diferencia del estudio previo en cada ítem a los estudiantes se les suministraron varias respuestas para seleccionar una de su preferencia. En comparación con el estudio previo, el porcentaje de las respuestas Lakatosianas aumentó considerablemente en cinco de los seis ítems. No obstante, el porcentaje elevado de las respuestas positivistas en cuatro ítems, muestra la influencia inductivista de los textos y los programas y por ende la resistencia a lograr el cambio conceptual. Se concluye que dada la posibilidad de considerar varias alternativas en cada ítem, los estudiantes lograron una mejor conceptualización de los modelos atómicos.

Palabras clave: Filosofía de la ciencia, positivismo, teoría atómica

Abstract

Teaching of the atomic theory at present emphasizes in experimental details and lacks a history and philosophy of science perspective. The objective of this study is to investigate the conceptualization of general chemistry students about the experiments of Thomson, Rutherford and Bohr. The study is based on 83 students who had registered for Chemistry I, at the Universidad de Oriente, Venezuela. After having discussed the three experiments, students were presented a questionnaire based on 6 items, taken from a previous study (Blanco y Niaz, 1998). In contrast to the previous study, students were presented various responses, from which they had to select one of their preference. In comparison to the previous study, the percentage of Lakatosian responses increased considerably, on 5 of the 6 items. Nevertheless, the high percentage of positivist responses on 4 items indicates the inductivist influence of textbooks and programs, and hence the resistance to conceptual change. It is concluded that students achieved a better conceptualization of atomic models if they have the possibility of considering various alternatives in every item,

Keywords: Philosophy of science, positivism, atomic theory

INTRODUCCIÓN

-

Investigaciones realizadas en la enseñanza de las ciencias han reconocido la importancia de la historia y filosofía de las ciencias (Bereiter, 1994; Blanco y Niaz, 1997, 1998; Burbules y Linn, 1991; Duschl, 1994; Hodson, 1988; Matthews, 1989, 1994a, 1994b; Niaz, 1993, 1995). Estas investigaciones han demostrado la necesidad de clarificar los elementos de la metodología de la investigación en ciencias, así mismo la importancia de comprender la naturaleza de las ciencias (Matthews, 1998; McComas et al., 1998; Smith y Scharmann, 1999).

La introducción de la historia y la filosofía de las ciencias pueden humanizar a la ciencia y así mismo pueden hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico. Se debe considerar además el papel fundamental de la ciencia debido a sus implicaciones en el desarrollo del conocimiento científico y sus aplicaciones en el campo tecnológico (Matthews, 1994a).

La construcción del conocimiento científico y sus implicaciones en la didáctica de las ciencias influyen en la metodología utilizada por los profesores en los salones de clases. La gran mayoría de los docentes, en casi todas partes del mundo, tienen una visión positivista (inductivista) del desarrollo del conocimiento científico. El positivismo se caracteriza por la atención casi exclusiva a los datos experimentales, y las interpretaciones se quedan relegadas a un segundo plano (Phillips, 1994). La inclusión del contenido de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias puede mejorar la comprensión del desarrollo científico y contribuir al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y auténtica (Blanco y Niaz, 1998; Matthews, 1994a).

El punto de partida de los programas en los cursos introductorios de química a nivel universitario es la teoría atómica, en el cual se considera que todas las sustancias están hechas de partículas, llamadas átomos. La enseñanza del desarrollo de la teoría atómica consiste, en la mayoría de los casos, en enfatizar los detalles experimentales de una rápida sucesión de “descubrimientos”. Así a la teoría de Dalton, se incorporaron sucesivamente: la naturaleza eléctrica de la materia (J.J. Thomson, 1897), la idea de la masa atómica asociada al núcleo y el volumen atómico asociado al espacio disponible por los electrones (E. Rutherford, 1911) y la cuantización de la energía para justificar que sólo ciertos niveles permitidos podrían ser ocupados por el electrón en el átomo (N. Bohr, 1913).

El estudio realizado por Blanco y Niaz (1998) mostró que la mayoría de los estudiantes y profesores universitarios de cursos introductorios tienen una conceptualización positivista del desarrollo de la estructura atómica y consideran que los datos experimentales son ‘objetivos’ y las interpretaciones siendo ‘subjetivas,’ quizás quedan fuera del ámbito de la ciencia. Partiendo del trabajo previo realizado por Blanco y Niaz (1998), esta investigación se planteó como objetivo facilitar a los estudiantes de cursos introductorios de química mayor información con respecto al desarrollo de la estructura atómica y comparar sus respuestas con las del estudio anterior.

METODOLOGÍA

El siguiente estudio se realizó en tres secciones de Química I, en las cuales se dictó el mismo programa en el mismo semestre por diferentes profesores, en la Universidad de Oriente, Venezuela. Después de haber estudiado los modelos atómicos de Thomson, Rutherford y Bohr, a los estudiantes se les suministraron seis cuestionarios (ítems) con varias respuestas teniendo que escoger una de su preferencia. Los ítems y las respuestas fueron tomadas de un estudio previo (Blanco y Niaz, 1998). Las respuestas se clasificaron como positivista, Lakatosiana y transicional. Los ítems se clasificaron de la siguiente manera: del ítem 1 al 3 se relacionaron con el experimento de Thomson, ítems 4 y 5 con el de Rutherford y el 6 con el de Bohr. Los seis ítems utilizados fueron los siguientes:

Item 1: A su juicio ¿Qué fue lo más importante en los experimentos de Thomson?

Item 2: ¿Cómo interpretaría usted el hecho de que al utilizar diferentes gases en el tubo de rayos catódicos, la relación (e/m) siguiera siendo la misma?

Item 3: A raíz de sus experimentos Thomson propuso un modelo atómico en el que consideraba al

átomo como una esfera de masa y densidad de carga uniforme, siendo los electrones como pasas en el pudín ¿ Estaría de acuerdo en que este modelo se ajusta a la información que poseía Thomson?

Item 4: A su juicio ¿Qué fue lo más importante en los experimentos de Rutherford?

Item 5: ¿Cómo interpretaría el hecho encontrado por Rutherford de que la mayoría de las partículas alfa atravesaran la lámina sin desviarse?

Item 6: A su juicio ¿Qué fue lo más importante de los experimentos de Bohr?

Las respuestas a cada uno de los ítems, expuestas a los estudiantes se presentan en las Tablas 1-6. Es importante notar que la clasificación de la respuesta como positivista, transicional y Lakatosiana, no fue incluida en el cuestionario para los estudiantes.

El criterio para clasificar las respuestas como positivistas, Lakatosianas y transicionales fueron los siguientes:

Positivista:

Las respuestas incluidas en esta categoría enfatizan la observación experimental, la demostración y la descripción de una realidad absoluta que tiene poco que ver con la hipótesis y el sistema teórico del científico.

-

Transicional:

Indican una comprensión parcial con respecto a la existencia de modelos competitivos/alternativos para explicar las observaciones experimentales y que ningún conocimiento es jamás establecido absolutamente (Phillips, 1994)

Lakatosiana:

Indican que el progreso científico está incluido dentro de un marco que involucra sistemas teóricos en competencia, basados en procesos que requieran la elaboración de hipótesis rivales y su evaluación a la luz de una nueva evidencia (Lakatos, 1970)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla No. 1, la primera opción escogida por los estudiantes fue la respuesta 1, con un porcentaje (32%) mayor que el obtenido en el estudio previo realizado por Blanco y Niaz, 1998 (23%). Esta respuesta se inclina por la propuesta positivista / inductivista, resaltando que lo más importante de los experimentos de Thomson fueron los hechos infalibles y tangibles como la relación (e/m). En el segundo lugar eligen la respuesta No. 3 (Lakatosiana) con un porcentaje de 17% (1% en el estudio previo). Los estudiantes que usaron esta línea de razonamiento consideran el hallazgo de la partícula universal como la parte más importante del trabajo de Thomson. En cambio la respuesta No. 5 (transicional), fue escogida como la última opción. Es importante notar que en el estudio previo los estudiantes generaron sus propias respuestas, y así la respuesta con mayor frecuencia fue la No. 1. En contraste, en este estudio las respuestas generadas en el estudio previo le fueron suministradas a los estudiantes con la instrucción de escoger la de su preferencia. Se puede observar, que aunque la respuestas positivistas (1, 2, 4, 6, 7, y 8) siguen siendo atractivas para los estudiantes, el porcentaje de la respuesta Lakatosiana (No. 3) ha aumentado considerablemente (17%).

TABLA 1
Comparación de las respuestas de los estudiantes en el ITEM 1

A su juicio, ¿ qué fue lo más importante en los experimentos de Thomson?

Nro	Respuestas	Porcentaje de Estudiantes	
		Este Estudio	Blanco y Niaz
1	Determinar la relación carga/ masa (e/m), con el uso del tubo de rayos catódicos. (Positivista)	32	
2	Describir que un átomo está compuesto de una esfera de electricidad positiva, en la cual se encuentran los electrones en cantidades suficientes para neutralizar la carga positiva. (Positivista)	13	19
3	Llegar a la conclusión de que los rayos catódicos estaban constituidos por algo universal a lo que dio el nombre de electrones. (Lakatosiana)	17	1
4	Determinar la naturaleza de los rayos	9	5

	catódicos. (Positivista)		
5	Establecer un nuevo modelo atómico, el de la bola de algodón, el cual tenía tantas cargas positivas como negativas. (Transicional)	1	
6	Determinar que los rayos catódicos consisten en partículas cargadas negativamente, llamadas electrones. (Positivista)	6	
7	El descubrimiento de los electrones. (Positivista)	3	7
8	Demostrar que los rayos catódicos podrían ser desviados por la aplicación de un campo eléctrico. (Positivista)	17	

En el ítem dos (ver Tabla 2), la respuesta No. 5 (Lakatosiana), fue la mas escogida por los estudiantes (47%) esto es indicativo de que los estudiantes consideran que lo mas importante de los experimentos de Thomson era que la relación e/m permaneciera constante para diferentes gases. En comparación con el ítem 1, aquí se observa un incremento en el porcentaje de la respuesta Lakatosiana desde un 17% a un 47%, y así mismo las respuestas transicionales se incrementaron de 1% a 28%.

TABLA 2

Comparación de las respuestas de los estudiantes en el ITEM 2

¿ Como interpretaría Ud. el hecho de que al utilizar diferentes gases en el tubo de rayos catódicos, la relación (e/m) siguiera siendo la misma?

Nro	Respuestas	Porcentaje de estudiantes	
		Este Estudio	Blanco y Niaz
1	Al utilizar diferentes gases la relación (e/m) no cambia, porque también cambia la carga y la masa. (Positivista)	12	12
2	Los gases actúan independientemente y esto no altera la relación (e/m) de los electrones. (Transicional)	28	5

3	Permanecía constante debido a los efectos producidos por los campos aplicados. (Positivista)	7	11
4	Por la influencia de los gases usados en los experimentos. (Positivista)	1	7
5	Porque si ellas fueran las mismas partículas presentes en los diferentes tipos de gases, la relación (e/m) debería ser una constante. (Lakatosiana)	47	5
6	Por la dependencia entre la carga y la masa. (Positivista)	1	5
7	Porque no hubo modificación absoluta en los procedimientos empleados en los diferentes experimentos. (Positivista)	1	2

En el ítem 3 (ver Tabla 3), se discute el modelo del átomo propuesto por Thomson, donde la mayoría de los estudiantes opinan no estar de acuerdo con su modelo, por no señalar la distribución de los electrones y otras partículas. Es importante resaltar el porcentaje de los estudiantes (38%) que escogieron la respuesta No. 4, (Lakatosiana), enfatizando que el modelo de Thomson fue un avance para el descubrimiento del átomo, es decir reconocen la importancia de la transición entre los programas de investigación. En cambio en el estudio previo, esta misma respuesta obtuvo sólo 1%.

TABLA 3

Comparación de las respuestas de los estudiantes en el ITEM 3

A raíz de sus experimentos Thomson propuso un modelo atómico en el que consideraba al átomo como una esfera de masa y densidad de carga uniforme, siendo los electrones como “pasas en el pudín”. ¿Estaría de acuerdo en que este modelo se ajusta a la información que poseía Thomson?

Nro	Respuestas	Porcentaje de Estudiantes	
		Este Estudio	Blanco y Nial
1	Sí, porque para ese tiempo la ciencia no estaba tan avanzada con respecto a los instrumentos y técnicas. (Positivista)	12	4
2	No, porque él no estaba seguro de sus	3	

	experimentos. No obstante, él formuló hipótesis de un modelo, para ver si otros científicos le aprobaban su trabajo. (Transicional)	1	
3	No, porque Thomson no sabía como estaban distribuidos los electrones y otras partículas en el átomo. El solamente conocía de su existencia. (Positivista)	40	9
4	El modelo de Thomson fue un avance para el descubrimiento del átomo, lo cual creó ansiedad entre los otros científicos, conduciéndolos a adicionales descubrimientos. (Lakatosiana)	38	1
5	No, porque pareciese que las partículas están rígidas, sin embargo en realidad poseen movimiento. (Positivista)	1	2
6	No, porque mas tarde Rutherford con sus experimentos logró demostrar que toda la masa estaba concentrada en una pequeña región llamada núcleo. (Positivista)	6	2

En el ítem 4 (ver Tabla 4), la mayoría (67%) de las respuestas en este estudio estuvieron caracterizadas por la visión positivista, enfatizando los hallazgos tangibles como, el átomo era en su mayor parte vacío (respuesta 4). Los estudiantes consideran esta respuesta más aceptable que la No. 2, la cual resalta la existencia del núcleo en el átomo, señalada en el estudio de Blanco y Niaz con el 38%. Por otra parte, la respuesta transicional No. 6 resalta el hecho de que los experimentos llevaron a Rutherford a proponer el modelo planetario. La idea de un modelo indica el carácter tentativo de la ciencia y en ese sentido es un avance con respecto a las respuestas positivistas.

TABLA 4

Comparación de las respuestas de los estudiantes en el ITEM 4

A su juicio, ¿ Qué fue lo más importante en los experimentos de Rutherford?

Nro	Respuestas	Porcentaje de Estudiantes	
		Este Estudio	Blanco y Niaz
	El descubrimiento de una concentración de	1	

1	cargas positivas en el átomo de la lámina de oro. (Positivista)	6	
2	Demostrar que existe una región pequeña y masiva en el centro del átomo que tiene carga positivas, llamado el núcleo. (Positivista)	11	38
3	Demostrar que la dispersión de las partículas alfa fue causada por un centro cargado positivamente. (Positivista)	6	6
4	Proponer que el átomo era en su mayor parte vacío, teniendo en el centro un núcleo cargado positivamente con los electrones a su alrededor. (Positivista)	67	17
5	Descubrir los elementos radioactivos y su teoría. (Positivista)	0	9
6	Proponer un modelo atómico comparable con el sistema planetario, en donde el núcleo contiene los protones y a su alrededor se encuentran los electrones. (Transicional)	11	4

En el ítem 5 (ver Tabla 5), la respuesta que enmarca una tendencia Lakatosiana es la mas aceptada por los estudiantes con un 69% ante un 18% en comparación con el estudio previo. Es importante apreciar cómo los estudiantes descartan las respuestas 1, 3 y 5 donde se enfatizan los hechos experimentales de una manera explícita. Pareciera que los estudiantes comprendieron que lo importante no son sólo los hechos experimentales sino los modelos y propuestas basadas en interpretaciones.

TABLA 5

Comparación de las respuestas de los estudiantes en el ITEM 5

¿ Cómo interpretaría el hecho encontrado por Rutherford de que la mayoría de las partículas alfa atravesaron la lámina sin desviarse?

Nro	Respuestas	Porcentaje de Estudiantes	
		Este Estudio	Blanco y Niaz
	Las partículas alfa fueron atraídas por las	0	

1	partículas negativas en la lámina de oro. (Positivista)		12
2	Debido a la alta energía de las partículas alfa. (Positivista)	3	7
3	Debido al hecho de que las partículas alfa tienen mayor masa que los electrones. (Positivista)	0	15
4	Como muy pocas partículas alfa fueron desviadas con ángulos grandes, él propuso que el átomo tenía en el centro un núcleo muy pequeño cargado positivamente. (Transicional)	25	4
5	Debido al hecho de que la lámina utilizada fue demasiado delgada. (Positivista)	0	2
6	Propuso que la mayor parte del átomo es un espacio vacío con una pequeña región cargada positivamente llamada, el núcleo. (Lakatosiana)	69	18

En la Tabla 6, se puede apreciar que los estudiantes están de acuerdo con la metodología Lakatosiana al escoger la respuesta 1 (33%), ante 1% en el estudio previo. Es importante notar que los estudiantes consideran que lo más importante de la teoría de Bohr fue aclarar la paradoja que existía con el modelo de Rutherford y no una visión positivista al señalar el uso de la mecánica cuántica para estudiar la energía de los electrones y la estructura de los átomos (ver respuesta 3 y 4). La respuesta transicional fue seleccionada por los estudiantes resaltando la postulación de un nuevo modelo (respuesta 7). Es importante señalar que una reconstrucción histórica de la obra de Bohr (1913) muestra que él ni siquiera había oído de las fórmulas de Balmer y Paschen, expuestas para explicar los espectros de hidrógeno, antes de formular la primera versión de su trabajo (Heilbron y Kuhn, 1969). Un estudio (Niaz, 1998) reciente mostró cómo ninguno de los 23 textos de química general, publicado por las mejores editoriales a nivel internacional, aclaró satisfactoriamente que el problema fundamental de Bohr fue la explicación de la estabilidad paradójica del modelo de Rutherford. Así mismo, Rodríguez y Niaz (2000) encontraron que aún estudiantes avanzados de química se resisten a cambios en su conceptualización de la obra de Bohr.

TABLA 6

Comparación de las respuestas de los estudiantes en el ITEM 6

A su juicio, ¿ qué fue lo más importante de los experimentos de Bohr?

Nro	Respuestas	Porcentaje de Estudiantes	
		Este Estudio	Blanco y Niaz
1	Resolver la paradoja que existía con el modelo de Rutherford, al clarificar la inestabilidad producida por el movimiento de los electrones alrededor del núcleo. (Lakatosiana)	33	1
2	Sugerir que un electrón acelerado emite radiación electromagnética, lo cual representa una pérdida de energía en dicho electrón. (Positivista)	9	8
3	Sugerir que de acuerdo con la mecánica cuántica los electrones en el átomo poseen ciertas cantidades definidas de energía. (Positivista)	16	14
4	Demostrar mediante la aplicación de la teoría cuántica la verdadera estructura del átomo. (Positivista)	11	5
5	Demostrar que las frecuencias emitidas en el espectro del átomo de hidrógeno obedecían a leyes simples. (Positivista)	1	8
6	Los cuatro postulados de Bohr. (Positivista)	9	1
7	Modificar el modelo de Rutherford, construyendo el primer modelo que predice correctamente el espectro atómico. (Transicional)	12	4

La Tabla 7, presenta una distribución total de las respuestas en todos los ítems. Las respuestas positivistas disminuyen del ítem 1 al ítem 2, desde un 80% a 22% y se observa un aumento considerable de 59% en el ítem 3. El aumento de las respuestas positivistas (85%) en el ítem 4 se debe en parte al hecho de que ninguna de las alternativas presentadas a los estudiantes era Lakatosiana. En cambio la respuesta Lakatosiana tuvo un aumento, en comparación con el estudio previo, en los ítems 1, 2, 3, 5 y 6 con un porcentaje de 17, 47, 38, 69, y 33, respectivamente. No obstante, en los ítems 1, 2, 3, 4, y 6 el porcentaje de las respuestas positivistas fue elevado.

TABLA 7

Distribución porcentual de las respuestas de los estudiantes en todos los Items.

Item	P	T	L	NC
1 (N = 83)	(80)* 91**	(1) 5	(17) 1	(2) 1
2 (N = 78)	(22) 46	(28) 6	(47) 9	(3) 24
3 (N = 69)	(59) 23	(3) 1	(38) 1	(-) 27
4 (N = 73)	(85) 78	(11) 7	(-) -	(4) 12
5 (N = 75)	- (3) 37	(25) 9	(69) 18	(3) 22
6 (N = 82)	(46) 51	(12) 8	(33) 4	(9) 21

P = Respuesta positivista.

T = Respuesta Transicional.

L = Respuesta Lakatosiana.

NC = Sin contestar.

* Porcentaje de este estudio.

** Porcentaje de Blanco y Niaz (1998).

CONCLUSIONES

La comparación de los resultados encontrados en esta investigación con los alcanzados por Blanco y Niaz (1998) han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1. Al igual que en el trabajo previo (Blanco y Niaz, 1998) las respuestas escogidas por los estudiantes como correctas fueron inconsistentes desde el punto de vista filosófico. Encontrándose respuestas desde el extremo positivista hasta el Lakatosiano. Sin embargo en este estudio se halló un aumento considerable del número de estudiantes que respondieron las preguntas desde la perspectiva Lakatosiana en comparación con el trabajo previo.
2. Dado que los estudiantes que participaron en este estudio tuvieron la oportunidad de considerar varias alternativas en cada ítem, eso facilitó una mejor conceptualización de los modelos atómicos. Por esta razón sugerimos emplear la secuencia utilizada en el cuestionario en la práctica docente de aula. No obstante, este estudio no indica que los estudiantes hayan comprendido la interpretación Lakatosiana de una manera explícita.
3. El porcentaje elevado de las respuestas positivistas en algunos ítems muestra la influencia inductivista de los textos (Niaz, 1998) y los programas, por ende la resistencia de los estudiantes a lograr el cambio conceptual.

BIBLIOGRAFÍA

Bereiter, C., Implication of postmodernism for science, or science as progressive discourse. *Educational Psychologist* **29**, 3-12, 1994.

Blanco, R. y Niaz, M., Epistemological beliefs of students and teachers about the nature of science: From “baconian inductive ascent” to the “irrelevance” of scientific laws, *Instructional Science* **25**, 203-231, 1997.

Blanco R. y Niaz, M., Baroque Tower on a Gothic Base: A Lakatosian reconstruction of students’ and teachers’ understanding of structure of the atom, *Science and Education* **7**, 327-360, 1998.

Bohr, N., On the constitution of atoms and molecules, *Philosophical Magazine* **26**, 1-25
1913.

Burbules, N. y Linn, M.C., Science education and philosophy of science: Congruence or contradiction? *International Journal of Science Education* **13**, 227-241, 1991.

Duschl, R. A., Research on the history and philosophy of science, En D.L. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching*, Macmillan, New York, 443-465, 1994.

Heilbron, J.L., y Kuhn, T., The genesis of the Bohr atom, *Historical Studies in the Physical Sciences* **1**, 211-290, 1969.

Hodson, D., Toward a philosophically more valid science curriculum, *Science Education* **72**, 19-40, 1988.

Lakatos, I., Falsification and the methodology of scientific research programmes´´, En I. Lakatos y A. Musgrave (eds.), *Criticism and the growth of knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, UK., 91-195, 1970.

Matthews. M. R., History, philosophy, and science teaching: A brief review, *Synthese* **80**,
1-7, 1989.

Matthews, M.R., *Science teaching: The role of history and philosophy of science*,
Routledge, New York, 1994a.

Matthews, M.R., Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias* **12**, 255-277, 1994b.

Matthews, M.R., In defense of modest goals when teaching about the nature of science, *Journal of Research in Science Teaching* **35**, 161-174, 1998.

McComas, W.F., Almazroa, H., y Clough, M.P., The nature of science in science education: An introduction, *Science and Education* **7**, 511-532, 1998.

Niaz, M., "Progressive problemshifts" between different research programs in science education: A Lakatosian perspective, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**, 757-765, 1993.

Niaz, M., Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation, *Science Education* **79**, 19-36, 1995.

Niaz, M., 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, 1998

Phillips, D.C., Positivism, antipositivism, and empiricism, En T. Husén y T. Postlethwaite (eds.), *The International Encyclopedia of Education* (2 ed.), Pergamon, Oxford, U.K., 1994.

Rodríguez, M.A., y Niaz, M., Comparación de la conceptualización de la estructura atómica, entre estudiantes de cursos básicos y de la Licenciatura en química, *Paradigma* (en prensa), 2000.

Rutherford, E., The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom, *Philosophical Magazine* **21**, 669-688, 1911.

Smith, M.U., y Scharmann, L.C., Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators, *Science Education* **83**, 493-509, 1999.

Thomson, J. J., Cathode rays, *Philosophical Magazine* **44**, 293-316, 1897.

