



Enseñanza de los modelos atómicos en programas de ingeniería

María Victoria Uribe Beltrán*
Rómulo Gallego Badillo**

* Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad de La Sabana. Licenciada en Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C. Magíster en Docencia de la Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C.

Correo electrónico: mariav.uribe@unisabana.edu.co

** Docente de la Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C. Licenciado en Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C., Magíster en Educación en Docencia Universitaria, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C.

Correo electrónico: rgallego@uni.pedagogica.edu.co

RESUMEN

El conocimiento de la estructura atómica es fundamental para comprender el comportamiento de los materiales, por lo cual es común encontrar que los currículos de los programas de ingeniería, en general, contemplan esta temática en los cursos introductorios de química. Son muchos los problemas que se presentan en la enseñanza y el aprendizaje de los modelos atómicos, como lo demuestran los trabajos de investigación que se han desarrollado y que han estado orientados a encontrar alternativas para su solución. Con base en la evaluación crítica de los resultados de los trabajos que sirvieron como antecedentes del presente, se hizo una propuesta de enseñanza de las teorías y modelos atómicos, montada sobre la fundamentación teórica de la didáctica de las ciencias experimentales, que se desarrolló con estudiantes de primer semestre de programas de ingeniería.

Las estrategias didácticas y pedagógicas que acompañaron la propuesta estaban encaminadas a ayudar a los estudiantes a lograr el cambio conceptual, metodológico, actitudinal y axiológico, que los llevara a reconstruir sus modelos mentales de átomo, de manera que concordaran con una rigurosidad admisible para los programas de ingeniería, con los modelos atómicos científicos, además de que elaboraran explicaciones sobre el comportamiento de los materiales, conceptual y metodológicamente fundamentadas en los modelos atómicos que reconstruyeron. Los resultados obtenidos con los instrumentos que se diseñaron para emitir un juicio sobre los resultados de aprendizaje producidos contrastaron positivamente las hipótesis que se plantearon, pues una buena proporción de los estudiantes con los cuales se trabajó logró los objetivos. Igualmente, los estudiantes, en su mayoría, reconocieron la importancia del aprendizaje de esta temática para construir su conocimiento sobre los materiales, este último de importancia reconocida por todos para su formación profesional.

Palabras clave: modelos atómicos, enseñanza-aprendizaje, modelo mental.

ABSTRACT

Knowledge of the atomic structure is fundamental in order to understand the behaviour of materials; for this reason, the curricula of introductory courses to engineering generally include subjects regarding such knowledge. Teaching and learning of atomic models entail a large number of problems, as shown by research works that have been carried out, aimed at finding alternatives to solve such problems. Based on a critical assessment of the results of research works taken as a basis for this paper, a proposal for the teaching and learning of atomic models was designed; it is based on the theoretical foundations of the didactics of experimental sciences and was carried out with first semester students of the engineering programs.

The didactic and pedagogic strategies included in the proposal aimed at helping the students to achieve a conceptual, methodological and axiological change which would lead them to build up their mental models of the atom in such a way that they were in accordance with the admissible mental rigor for engineering programs and with scientific atomic models. Also, it was expected that the students would develop explanations on materials behaviour, conceptually and methodologically based on the atomic models that they had rebuilt. The results gained with the instruments that were designed to give judgement on the learning results that were produced, contrasted positively with the formulated hypotheses as a good number of the students involved were successful in achieving the objectives. Likewise, most students acknowledged the importance of learning these subjects in order to build up their knowledge of materials, whose significance in their professional formation is widely recognized.

Key words: atomic models, teaching-learning, mental model.

Todas las sustancias están constituidas por las mismas partículas elementales (átomos), y sin embargo, cada una de ellas tiene una apariencia y un comportamiento diferentes. Para lograr entender la razón por la cual, en las mismas condiciones ambientales, hay sustancias sólidas, líquidas y gaseosas, por qué en la playa la arena es sólida, el agua de mar líquida y el aire gaseoso, aunque los tres materiales estén formados por las mismas partículas, átomos, es necesario conocer la estructura de esta partícula elemental; solo así se llega a comprender el concepto de enlace químico para la formación de moléculas de compuestos y las reacciones químicas (propiedades químicas), y las atracciones interparticulares para constituir los diferentes estados en los que se presentan los materiales, además de las demás propiedades físicas.

Objetivos del trabajo de investigación

- Desarrollar una propuesta didáctica sobre la enseñanza de la estructura atómica de los materiales a estudiantes de programas de ingeniería, que permita superar la mayoría de las dificultades que se presentan usualmente, para que ellos logren el cambio conceptual, metodológico, actitudinal y axiológico requerido, con miras a la construcción de un modelo mental sobre el átomo acorde con los modelos atómicos científicos.
- Aportar apoyo empírico a la fundamentación teórica y metodológica de la didáctica de las ciencias experimentales y de las tecnologías.

Marco teórico

La comprensión del comportamiento de los materiales se fundamenta en el conocimiento de la estructura atómica. Son muchos los problemas que se presentan en la enseñanza y aprendizaje de esta temática, como lo demuestran los trabajos de investigación que se han desarrollado, unos buscando comprender el conocimiento de los alumnos sobre la naturaleza corpuscular de la materia (Gabel, 1993) y cómo es su evolución (Benarroch, 2000; 2001), otros orientados a encontrar alternativas para su solución (Camaño, 2000; De Posada y Conejo, 2000; Gentil y otros, 1989; Gillespie y otros, 1996; Mondelo y otros, 1994; Niaz, 1998; Niaz y otros, 2002; Okulik y otros, 2002; Rodríguez y Niaz, 1999; 2001; Villaveces, 2001), tratando de combatir la enseñanza descriptiva y memorística (Vásquez y Manassero, 1999).

De acuerdo con esta revisión de trabajos de investigación realizados alrededor de la educación en el campo de la estructura atómica de los materiales, se podría concluir que:

- La enseñanza de las teorías y modelos sobre la estructura atómica de los materiales, tanto a nivel escolar como universitario, ha de basarse en el conocimiento de las concepciones alternativas que tengan los estudiantes al respecto.
- Los objetivos de la educación en este campo de la ciencia han de estar de acuerdo con el desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en lo que se refiere a las etapas de educación primaria y secundaria.

- La enseñanza de las teorías y modelos atómicos ha de hacerse con una visión epistemológica e histórica, que permita que los estudiantes entiendan el significado de un modelo científico y lo que este representa en el desarrollo de la ciencia, para aumentar su capacidad de pensamiento crítico.
- Conviene dar a los estudiantes la oportunidad de discutir sobre los conceptos aprendidos y sobre cómo entendieron el desarrollo de la ciencia en este campo del saber, para desarrollar su capacidad de argumentación reflexiva.
- Dado el carácter abstracto del concepto de átomo y de los demás conceptos relacionados con este, han de utilizarse para su enseñanza modelos didácticos adecuados, con una secuencia lógica dentro del contexto histórico, para que los estudiantes construyan su propio modelo mental, acorde con el modelo científico.
- La transposición didáctica de los modelos atómicos, que produzca los modelos didácticos adecuados, ha de ser hecha por el profesor directamente desde las fuentes originales de información; es decir, desde los artículos originales de los científicos que construyeron los modelos científicos, como única manera válida de llegar al conocimiento de la ciencia.
- El modelo didáctico analógico de Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) parece ser una estrategia didáctica recomendable para la enseñanza de los modelos atómicos.

Con base en esta evaluación crítica de los resultados de los trabajos que sirvieron como antecedentes, se hizo una propuesta de enseñanza de la estructura atómica de los materiales, montada sobre la fundamentación teórica de la didáctica de las ciencias experimentales, considerada hoy como una disciplina científica teóricamente fundamentada (Gil y otros, 1999; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), y teniendo en cuenta que se llevaría a cabo con estudiantes de ingeniería, para los cuales la intención de la formación científica y tecnológica va más allá de la alfabetización promovida por el movimiento CTS, para todos los ciudadanos del mundo (Fouréz, 1998), se diseñaron los instrumentos para identificar, caracterizar y emitir un juicio sobre los resultados de aprendizaje que la propuesta persiguió.

Este trabajo de investigación se realizó desde la concepción de modelo científico (Del Re, 2000; Giere, 1999; Islas y Pesa, 2003).

Desarrollo del tema

Las estrategias didácticas que acompañaron la propuesta consistieron en partir del conocimiento que el profesor tuvo de las concepciones alternativas de los estudiantes, al respecto de la estructura atómica de los materiales y de la reflexión que ellos hicieron de las mismas; hacer la enseñanza con base en la epistemología y la historia de los modelos atómicos y propiciar el debate entre ellos, tanto alrededor del desarrollo de la ciencia en este campo, como de la explicación que cada uno dio sobre algún comportamiento de los materiales, que requería la elaboración de una representación admisible sobre el átomo. Todas las estrategias

estuvieron encaminadas a buscar que los estudiantes lograran y fueran conscientes del cambio conceptual que iban propiciando, luego de notorios cambios axiológicos, actitudinales y metodológicos. Un paso importante consistió en que los estudiantes reflexionaran sobre las diferencias en su modelo mental inicial de átomo, que estaba parcial o totalmente sin fundamentación científica, y aquel que reconstruyeron durante el proceso enseñanza-aprendizaje. La enseñanza desde la epistemología y la historia tuvo una importancia especial, ya que desde allí se puede comprender la relación entre los avances de la ciencia y la tecnología y el carácter dinámico de las dos.

Instrumentos aplicados

De conformidad con la revisión bibliográfica que se adelantó y a partir de la transposición didáctica (Chevallard, 1998) hecha por la autora desde los artículos científicos originales (Bohr, 1913, 1963; Rutherford, 1899, 1911, 1914; Thomson, 1897, 1904, 1906; Thomson, Lord Kelvin, 1902), se diseñaron los instrumentos que se requerían para la recolección de información, que permitiera emitir un juicio válido y confiable sobre los logros didácticos y pedagógicos que se propusieron. Estos fueron:

1. Un listado de conceptos, que se les suministró a los estudiantes antes del proceso enseñanza-aprendizaje, para que expresaran las concepciones o ideas que tenían al respecto de los modelos atómicos; este permitió conocer las concepciones alternativas previas al proceso, además de seleccionar las lecturas recomendadas. Se suministró nuevamente, al final de dicho proceso, para obte-

ner información sobre las transformaciones que sufrieron en sus concepciones iniciales.

Los conceptos del listado se presentaron con una secuencia que evitara la distracción del estudiante y le permitiera relacionar unos con los otros. Para el análisis de lo expresado por ellos, con el fin de evaluar sus concepciones alternativas, se agruparon, de acuerdo con las categorías que se consideraron importantes y que permitieran emitir un juicio, así:

- Para determinar si los estudiantes reconocen el carácter corpuscular de la materia: elementos, átomos, compuestos, moléculas y iones.
- Para determinar si los estudiantes reconocen el átomo como una partícula constituida por otras, aunque no la consideren básica: protones, electrones, neutrones, radiactividad y núcleo atómico.
- Para determinar si reconocen la naturaleza eléctrica del átomo: protones, electrones y neutrones.
- Para determinar el reconocimiento de la naturaleza eléctrica del enlace químico: electrones de valencia, electronegatividad, enlace químico, polaridad de un enlace y iones.
- Para determinar el reconocimiento de la naturaleza eléctrica de la molécula: polaridad del enlace, iones y moléculas.

Para la evaluación de los resultados se optó por una lógica binaria, pues una tercera posición dificultaba el análisis y le restaba objeti-

vidad. Se adjudicó 1 a los casos en los cuales se consideró, sin lugar a dudas, que existía el concepto buscado, y 0 a aquellos en los que no existía o quedaban serias dudas de esto.

2. La presentación a los estudiantes de un hecho sobre el estado de agregación de las partículas en diferentes materiales, cuya explicación no se pudiera dar sin tener conocimiento de los modelos atómicos, para que dieran cuenta del mismo por escrito desde sus concepciones; de esta manera se pudieron conocer, antes y después del proceso de enseñanza-aprendizaje, sus concepciones alternativas respecto del enlace químico y de las fuerzas de atracción intermolecular, directamente relacionadas con sus concepciones de átomo, además de las incidencias de estas últimas en las primeras.

Los resultados se expresan, de la misma manera que en el listado de conceptos, con una lógica binaria que busca objetividad en el análisis de lo expuesto por los estudiantes. Se adjudicó 1 para indicar que el estudiante tiene, a criterio de la evaluadora, el conocimiento que se indica, y 0 para lo contrario.

3. Dos composiciones: una sobre la temática de los modelos atómicos, con el fin de que los estudiantes refirieran los cambios sufridos en sus concepciones alternativas durante el proceso de aprendizaje y en la metodología utilizada por ellos para aprender; la composición fue elaborada por los estudiantes al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la estructura atómica de los materiales; se les pidió que compararan su modelo mental de átomo anterior al proceso, con el modelo al final del mismo, a fin de determinar hasta qué punto son conscientes del

cambio logrado en este y, de acuerdo con el criterio de la autora, si el cambio conceptual logrado es suficiente para construir sobre este sus conocimientos sobre los materiales. Además, se les pidió que, en la misma composición, se refirieran a la manera como habían construido su modelo inicial sobre el átomo y a la metodología utilizada por ellos para lograr el cambio de modelo.

Otra composición, en la cual los estudiantes hicieron alusión al desarrollo de la ciencia en el campo de la estructura atómica; con esta se pretendió indagar sobre su argumentación reflexiva. Esta composición también ayudó a conocer el modelo mental que reconstruyeron los estudiantes y su concordancia con los modelos científicos, pudiéndose suponer que los resultados se hayan favorecido por la enseñanza con base en su historia y su epistemología.

De la misma manera que se han presentado los resultados de las pruebas anteriores y con la misma lógica binaria utilizada buscando objetividad en el análisis, se adjudicó 1 a aquellos aspectos con resultado positivo y 0 en el caso contrario. Se consideró un resultado positivo, por una parte, cuando el cambio de las concepciones alternativas del estudiante sobre el átomo es evidente en la composición que elaboró; por otra, cuando la evaluadora consideró que el cambio se logró con una reconstrucción estructurada de las concepciones y, por último, cuando el estudiante es consciente del cambio y de su magnitud.

4. Una entrevista con algunos de los estudiantes seleccionados aleatoriamente, en la que se buscó conocer la importancia que le dan al estudio de los modelos atómicos.

Mediante esta se buscó caracterizar las ideas alternativas que los estudiantes elaboraron sobre su futura profesión y el papel que tuvo el estudio de los modelos atómicos en la misma. Para este efecto se hicieron preguntas abiertas, con el fin de determinar el cambio de actitud de los estudiantes, respecto del aprendizaje de la estructura atómica de los materiales y el valor que le reconocen a este para su formación profesional. Además, sus respuestas permitieron opinar sobre lo que sabe el estudiante; se puso atención al vocabulario que usó y al nivel de profundización de sus conocimientos.

Las entrevistas fueron realizadas por un profesional en el campo de la química y conocedor del tema, diferente del profesor, para evitar que los estudiantes se sintieran presionados a dar determinado tipo de respuestas; fueron grabadas, para ser evaluadas por la autora del presente trabajo de investigación.

Se consideró que el tamaño de la población objetivo del proyecto hacía no viable la realización de la entrevista a toda esta, razón por la cual se buscó la estimación de un tamaño de muestra para proporciones (Ospina Botero, 2001), es decir, una muestra aleatoria, que permitiera que la proporción determinada con ella se pudiera considerar para la población total.

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó el método de muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{\frac{z^2 P^* Q^*}{\delta^2}}{\frac{N-1}{N} + \frac{1}{N} \frac{z^2 P^* Q^*}{\delta^2}}$$

donde:

N = Tamaño de la población objetivo.

z = Valor que depende del nivel de confianza en la muestra.

P* = Proporción de individuos de la población que cumplen con los objetivos.

Q* = 1 - P*.

d = Nivel de error aceptado.

Para este caso, las condiciones fueron las siguientes:

- El tamaño de la población objetivo fue de 98.
- Para un nivel de confianza del 80%, el valor de z resultó ser 1,2816.
- El nivel de error aceptado, d, es de 0,10 (10%).
- Según la experiencia de la autora, la proporción de estudiantes que usualmente logran construir su conocimiento sobre la estructura atómica de los materiales es del 35% (P* = 0,35).

Como la muestra es aleatoria con reemplazo (si sale algún número repetido), cualquier individuo de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado (Ospina Botero, 2001). De esta manera se seleccionaron 28 números aleatorios, para realizar la entrevista individual con los estudiantes a quienes les correspondieran esos números en una lista previamente elaborada.

Se adjudicó un valor de 1 a aquellos casos en los que la autora consideró que el resul-

tado de la entrevista, en los aspectos que se quisieron determinar, fue positivo; en el caso contrario se adjudicó 0. Se mantuvo la lógica binaria, ya que se consideró que el tener en cuenta una tercera opción intermedia hacía correr el riesgo de perder objetividad en el análisis.

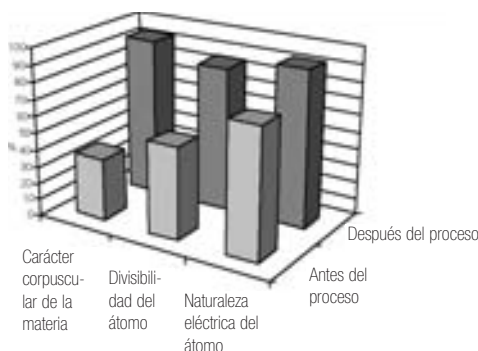
Resultados

El trabajo se adelantó durante el mes de agosto de 2004, con cerca de cien estudiantes de primer semestre de dos programas de ingeniería de la Universidad de La Sabana. Los resultados de la aplicación de las pruebas se recogen en las gráficas 1, 2, 3 y 4.

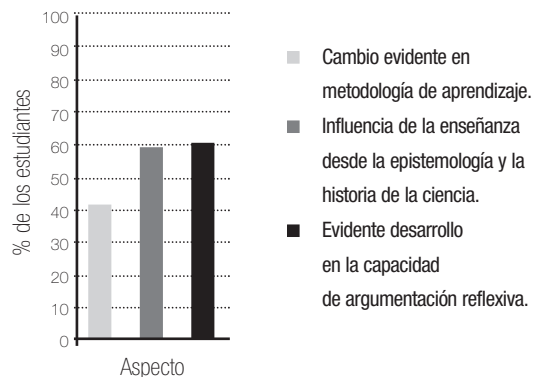
La mayoría de los estudiantes llegaron a la Universidad con conocimientos superficiales sobre el átomo, si se tiene en cuenta que ellos no comprendían aspectos tan fundamentales como que este concepto es necesario para explicar la estructura fundamental de los materiales. Las concepciones alternativas al respecto, y aquellas sobre la naturaleza eléctrica del átomo y las partículas constituyentes de este, cambiaron en el grupo considerablemente durante el proceso de aprendizaje, como se observa en la gráfica 1.

La gráfica 2 indica cómo la metodología utilizada por los estudiantes para el aprendizaje cambió en un porcentaje considerable de ellos. La mayoría reconocieron haber utilizado hasta el momento un aprendizaje memorístico, mediante el cual pudieron repetir, por ejemplo, que el átomo es una partícula neutra, constituida por partículas con cargas eléctricas, sin que esto significara algo a su estructura conceptual. Es posible pensar que la enseñanza con base en la epistemología y la historia de los modelos atómicos fue muy apropiada, pues comprendieron la relación existente entre el desarrollo de la ciencia y de la tecnología. Además, estimuló en ellos la lectura y los ayudó a tener conciencia sobre la poca profundidad de las representaciones mentales que tenían. La discusión propiciada sobre los conceptos y el desarrollo de la ciencia en este campo de la estructura atómica de los materiales desarrolló notoriamente su capacidad de argumentación reflexiva. Esto fue evidente en la relación que hicieron de algunos conceptos que aclararon con las lecturas históricas y que hasta ese momento creían tener estructurados.

Gráfica 1
Cambio conceptual

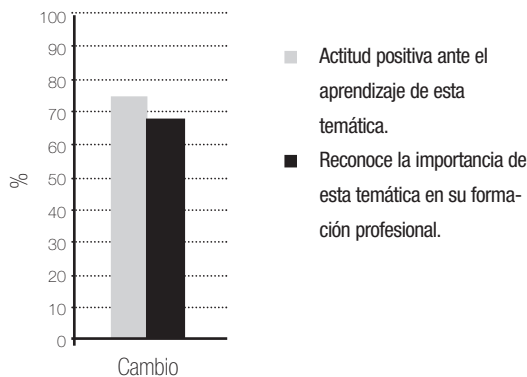


Gráfica 2
Cambio metodológico



El cambio metodológico en los estudiantes, que fue el que los llevó al cambio conceptual, no fue fácil de lograr, pues requirió esfuerzo por parte de ellos y apoyo de la persona directamente responsable del proyecto. Un factor importante para lograrlo fue el cambio axiológico, ya que reconocieron la importancia y el interés que la temática tenía para su formación, como dejaron ver los resultados de la entrevista, lo que los llevó a desarrollar una actitud positiva ante el aprendizaje, tal cual como se recoge en la gráfica 3.

Gráfica 3
Cambio actitudinal
y axiológico



Al finalizar el proceso, los resultados obtenidos hablan a favor de que el modelo mental de átomo construido por gran parte de los estudiantes coincide aceptablemente, en los aspectos que se analizaron y que fueron los que se consideraron importantes para evaluar, con los modelos atómicos admitidos por la comunidad científica (ver gráfica 4).

Gráfica 4

Indicadores de conocimiento sobre la estructura atómica de los materiales, que permiten determinar el modelo mental de átomo



Conclusiones

Una buena proporción de los estudiantes (68%) con los cuales se trabajó lograron reconstruir los modelos atómicos con un nivel de rigurosidad admisible para los programas de ingeniería, y elaboraron explicaciones sobre el comportamiento de los materiales, fundamentadas en tal reconstrucción. Reconocieron la importancia del aprendizaje de esta temática para su formación profesional como ingenieros.

La propuesta conceptual y metodológica desarrollada, sobre la enseñanza de los modelos atómicos, propició en los estudiantes el cambio conceptual, metodológico, actitudinal y axiológico esperado. Se confirmó que para el cambio conceptual es necesario que haya un cambio de actitud respecto del aprendizaje, que este solamente es factible si le encuentran sentido a aprender esta temática y se siente gusto al hacerlo, de tal manera que haya una motivación que justifique el esfuerzo para un cambio en los métodos de aprendizaje.

Propiciar el debate alrededor de la explicación de un hecho y del proceso de construcción de los modelos científicos sobre el átomo, permite el aprendizaje y mejora la calidad de argumentación reflexiva.

Se confirmó que la enseñanza de los modelos atómicos para los programas de ingenie-

ría de la Universidad de La Sabana ha de hacerse desde una visión epistemológica e histórica, puesto que ayuda a los estudiantes a elaborar una representación mental acorde con los modelos científicos y les permite entender la relación entre ciencia y tecnología y el carácter dinámico de las dos.

Bibliografía

- Benarroch, A. (2000). "El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia", *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), pp. 235-246.
- Benarroch, A. (2001). "Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia", *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp. 123-134.
- Bohr, N. (1913). "On the Constitution of Atoms and Molecules", *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 26, pp. 1-25.
- Bohr, N. (1963). (Publicación póstuma). "Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge", *Interscience Publishers*, John Wiley & Sons.
- Caamaño, A. (2000). "El aprendizaje y la enseñanza de la estructura de la materia: presentación de la monografía", *Revista Alambique*, N° 26, pp. 73-74.
- Chevallard, I. (1998). *La transposición didáctica, del saber sabio al saber enseñado*, Argentina, Editorial Aique.
- De Posada, J. M.; Conejo, R. (2000). "Problemas y soluciones didácticas para abordar el enlace químico", *Revista Alambique*, N° 26, pp. 95-100.
- Del Re, G. (2000). "Modelos y analogías en Ciencias", *Hyle International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6 (11), pp. 5-15.
- Fouréz, G. (1998). *Alfabetización científica y tecnológica*, Buenos Aires, Calihue.
- Gabel, D. L. (1993). "Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding", *Journal of Chemical Education*, 70 (3), pp. 193-194.
- Galagovsky, L.; Adúriz-Bravo, A. (2001). "Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico", *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), pp. 231-242.
- Gentil, C.; Iglesias, A.; Oliva, J. M. (1989). "Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de bachillerato. Implicaciones didácticas", *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), pp. 126-131.
- Giere, R. (1999). "Del realismo constructivo al realismo perspectivo", *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 9-13.
- Gil, D.; Carrascosa, J.; Martínez-Terrades, F. (1999). "El surgimiento de la didáctica de las Ciencias como campo específico de conocimientos", *Rev. Educación y Pedagogía*, 11 (25), pp. 15-65.
- Gillespie, R. J.; Spencer, J. N.; Moog, R. S. (1996). "Electron Configurations from Experiment", *Journal of Chemical Education*, 73, pp. 617-636.
- Islas, S. M.; Pesa, M. A. (2003). "¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado?", *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 57-66.
- Mondelo, M.; García, S.; Martínez, C. (1994). "Materia inerte/Materia viva, ¿tienen ambas constitución ató-

mica?”, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), pp. 226-233.

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 (5), pp. 527-552.

Niaz, M.; Aguilera, D.; Maza, A.; Liendo, G. (2002). Arguments, Contradictions, Resistances, and Conceptual Change in Students’ Understanding of Atomic Structure”, *Science Education*, 86 (4), pp. 505-525.

Okulik, N.; Núñez, M. B.; Aguado, M. I.; Castro, E. (2002). “Una experiencia de investigación en la enseñanza de la estructura atómica”, *Revista de Educación en Ciencias*, 3 (1), pp. 31-33.

Ospina Botero, D. (2001). *Introducción al muestreo*, Bogotá, Editorial Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, 1ª. ed., pp. 47-88.

Rodríguez, M. A.; Niaz, M. (2001). “Experimento de la gota de aceite en manuales de laboratorio de física: una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia”, *Revista de Educación en Ciencias*, 2, pp. 81-84.

Rodríguez, M. A.; Niaz, M. (1999). “Conceptualización de la estructura atómica, en estudiantes de cursos básicos y de la Licenciatura en Química”, *Paradigma*, 20 (2), p. 133.

Rutherford, E. (1899). “Uranium Radiation and the Electrical Conduction Produced by it”, *Philosophical Magazine*, Series 5, xlvii, pp.109-163.

Rutherford, E. (1911). “The Scattering of a and b Particles by Matter and the Structure of the Atom”, *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 21, p. 669-688.

Rutherford, E. (1914). “The Structure of the Atom”, *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 27, p. 488-498

Thomson, J.J. (1897). “Cathode Rays”, *Philosophical Magazine*, 44, p. 293-316.

Thomson, J.J. (1904). “On the Structure of the Atom”, *Philosophical Magazine*, Series 6, Volume 7, Number 39, pp. 237-265.

Thomson, J.J. (1906). “On the Number of Corpuscles in an Atom”, *Philosophical Magazine*, 11, pp. 769-781.

Thomson, W.; Lord, Kelvin (1902). “Aepinus Atomized”, *Philosophical Magazine*, vol. 3, N° 15, p.257.

Vásquez, A.; Manassero, M. A. (1999). “Características del conocimiento científico: Creencias de los estudiantes”, *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), pp. 377-395.

Villaveces, J. L. (2001). “La enseñanza de la estructura de los átomos y de las moléculas”, *Revista Ciencia y Tecnología*, 9, Bogotá, Colombia, U.P.N., pp. 108-118.