

¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas

Juan Miguel Campanario y Aída Moya
Enseñanza de las Ciencias 1999, 17, 179-192.

Andoni Garritz

Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Escolar. Ciudad Universitaria. Coyoacán 04510. México, D.F. andoni@servidor.unam.mx

Resumen

Este artículo recopila las principales tendencias y las propuestas más recientes para enseñar ciencias naturales. Poco a poco van pasando por el análisis:

- El aprendizaje por descubrimiento.
- La resolución de problemas, como base de la enseñanza y el aprendizaje.
- El cambio conceptual como punto de partida de las ideas constructivistas.
- El aprendizaje como un proceso de investigación dirigida.
- El desarrollo de las capacidades metacognitivas.
- El diseño de unidades didácticas.

Introducción

En su introducción, el artículo menciona las dificultades ya “clásicas” en los procesos de aprendizaje de las ciencias, tales como: la estructura lógica de los contenidos conceptuales, el nivel de exigencia formal de los mismos y la influencia de los conocimientos previos del alumno. Dice que en tiempos más recientes el interés de la investigación se ha movido a prestar atención a factores tales como las concepciones epistemológicas de los alumnos, sus estrategias de razonamiento o a la metacognición. Aclara a continuación a qué se refieren más específicamente estos últimos factores.

Por ejemplo, dice que “las concepciones epistemológicas” se refieren a las ideas del conocimiento, en general, en nuestro caso del conocimiento científico: cómo se estructura, cómo evoluciona y cómo se produce, tema que se ha dado en llamar “la naturaleza de la ciencia”. Las concepciones epistemológicas sobre la ciencia guardan relación con las concepciones sobre cómo se aprende el conocimiento científico.

Con relación a “las estrategias de razonamiento” dicen que existe amplia evidencia de que cuando los alumnos abor-

dan el análisis de problemas científicos utilizan metodologías superficiales o aplican heurísticos importados del contexto cotidiano, pero de dudosa utilidad cuando se trabaja con contenidos científicos.

Nos dicen, finalmente que “las estrategias metacognitivas” de los alumnos son realmente pobres. Los estudiantes aplican criterios de comprensión limitados, de manera que no siempre son capaces de formular sus dificultades como problemas de comprensión; es decir, no saben que no saben.

Como resultado de investigaciones en estos aspectos, parece claro que las estrategias tradicionales de enseñanza de las ciencias son poco eficaces para promover el aprendizaje significativo. Resultan, por lo tanto, ser suposiciones inadecuadas las siguientes relativas a concepciones tradicionales acerca de la enseñanza y el aprendizaje:

- a) Enseñar es una tarea fácil que no requiere de una preparación especial.
- b) El proceso de enseñanza-aprendizaje se reduce a una simple transmisión de conocimientos ya elaborados.
- c) El fracaso de muchos alumnos se debe a sus propias deficiencias: falta de nivel, falta de capacidad, etc.

Dicen los autores que cómo enseñar más eficazmente es un problema abierto hoy. Mencionan que es conveniente abandonar la noción de *método de enseñanza* y cambiarla por *estrategia de enseñanza*. Sin embargo, dicen que la organización de las actividades de enseñanza que conduzcan al aprendizaje significativo está lejos de ser evidente o unívoca, y lo que pretende este artículo es revisar y analizar críticamente los enfoques más influyentes que se han propuesto para intentar vencer con mayor o menor éxito los muy diversos elementos que configuran las dificultades del proceso de aprendizaje de las ciencias.

¿Tiene vigencia el aprendizaje por descubrimiento?

Se dice que los defensores del aprendizaje por descubrimiento fundamentaban su propuesta en la teoría de Piaget. En consonancia con los postulados piagetianos, en el aprendizaje por descubrimiento se presta escasa atención a los contenidos concretos que el alumno debe aprender, frente a los métodos. Lo

importante es aplicar a toda costa las estrategias del pensamiento formal. La enseñanza debería basarse, de acuerdo con este enfoque, en el planteamiento y resolución de situaciones abiertas en las que el alumno pueda *construir* los principios y leyes científicos.

Piaget tenía predilección por esta estrategia. Decía “cada vez que se enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide inventarlo y, en consecuencia, entenderlo completamente”.

El aprendizaje por descubrimiento, con su énfasis en la participación activa de los alumnos en el aprendizaje a aplicación de los procesos de la ciencia, se postulaba en las décadas de los años sesenta y setenta como una alternativa a los métodos pasivos basados en la memorización y en la rutina. Sin embargo, si alguna estrategia de la enseñanza experimental ha recibido críticas recientes, ésta es la del aprendizaje por descubrimiento.

Nos dice Hodson [1] la siguiente frase que descalifica sobradamente al aprendizaje por descubrimiento: “Existe una fuerte corriente de opinión cuyo mensaje es que el aprendizaje por descubrimiento es epistemológicamente equivocado, psicológicamente erróneo y pedagógicamente impracticable.”

Campanario y Moyá nos dicen que “tanto las evidencias experimentales como los análisis críticos pusieron de manifiesto inconsistencias y deficiencias en el aprendizaje por descubrimiento.” Nos mencionan igualmente que “está basado en unas concepciones epistemológicas hoy día superadas. Con su énfasis en la observación y en la formulación de hipótesis, este enfoque tiene mucho que ver con las concepciones excesivamente inductivistas sobre la ciencia y el trabajo científico.” Campanario y Moyá citan la siguiente frase de Hodson: “una de las características del aprendizaje por descubrimiento que más facilitó su extensión es que la visión de la ciencia que lo sustenta es más ‘sencilla’ que la de otros modelos de la ciencia y los alumnos pueden comprenderla con más facilidad.” Agregan el argumento de Hodson: “La preferencia de los procedimientos frente a los contenidos es muy discutible: lo demuestran las investigaciones sobre las ideas previas de los alumnos, y en contra de la supuesta independencia del pensamiento formal, los contenidos concretos sí son importantes a la hora de aprender ciencias.”

Una de las críticas más certeras al aprendizaje por descubrimiento es la de Ausubel [2] quienes distinguen entre *aprendizaje memorístico* y *aprendizaje significativo*. Ni todo el aprendizaje receptivo es forzosamente memorístico, ni todo el aprendizaje por descubrimiento es necesariamente significativo. Estas categorías formarían unos ejes “ortogonales”, en palabras de Ausubel, que permitirían clasificar las situaciones de aprendizaje en el aula. Lo importante no es que el aprendizaje sea receptivo o por descubrimiento, sino que sea memorístico o significativo.

A pesar de las muchas limitaciones que hemos mencionado, Campanario y Moyá concluyen con algunos aspectos positivos que el aprendizaje por descubrimiento tiene en la enseñanza de las ciencias:

- Los alumnos se hacen responsables de su propio aprendizaje.
- El aprender a descubrir implica toda una prueba con relación al trabajo científico, por lo que está presente en este enfoque el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia.
- Aprender a detectar anomalías puede ser muy provechoso para los alumnos, pues es otra característica de la serendipia en la observación científica.
- No cabe duda de que enseñar a los alumnos a observar con ojos críticos es una de las aportaciones más dignas de consideración de una teoría del aprendizaje y la enseñanza.

La enseñanza de las ciencias basada en el uso de problemas

Esta propuesta consiste en organizar unidades didácticas articuladas esencialmente como colecciones de problemas. Cuando este enfoque se complementa con una organización cooperativa del trabajo en el aula, los problemas pueden hacerse más complejos y pueden prolongarse durante más tiempo. Es evidente que en esta formulación gran parte de la responsabilidad del aprendizaje recae en el propio alumno [*].

La resolución de problemas en cualquier área implica un comportamiento humano muy complejo. Dice Herron [3] que “la resolución de problemas es el proceso de sobreponerse a algún impedimento real o aparente para proceder a alcanzar una meta”. Dicho de otra forma, “la resolución de problemas es lo que haces cuando no sabes qué hacer”. Al analizar esta metodología de enseñanza y aprendizaje, la palabra problema debe ser entendida ampliamente, ya que puede incluir pequeños experimentos, grandes temas de investigación, conjuntos de observaciones y tareas de clasificación, entre otras.

Es importante anotar que esta metodología tiene como objetivo que el alumno aprenda por el análisis de casos, más que por discurrir alrededor de los conocimientos científicos en sí. La selección y sucesión de problemas le orienta para que aprenda, a partir de fuentes diversas, los contenidos que se estiman relevantes en una disciplina dada. El uso sistemático de los problemas está encaminado a dar relevancia a tales contenidos, no a provocar su descubrimiento.

La investigación sobre este tópico refleja un renovado interés por saber cómo los estudiantes resuelven problemas. Gabel y Bunce [4] nos indican que son tres los factores primordiales a estudiar a este respecto:

- a) La naturaleza del problema y los conceptos subyacentes en los cuales se basa el problema (así como el entendimiento estudiantil de estos conceptos).
- b) Las características del aprendiz, esto es, cómo las aptitudes y actitudes se relacionan con el éxito en la resolución del problema. Dentro de este aspecto se analiza el proceder de expertos y novatos.

* Se recomienda un libro no citado en el artículo de Campanario y Moyá, el de Ramírez, J. L.; Gil, D.; Martínez-Torregrosa, J. *La resolución de problemas de física y química, como investigación*. Madrid. Ministerio de Educación y Ciencia. 1994.

- c) El ambiente de aprendizaje, o sea, los factores contextuales o ambientales hallados por quien resuelve el problema que son externos al problema y al aprendiz.

Con relación a la naturaleza del problema, el primer paso requerido para tener éxito es entender el significado del mismo. Quien resuelve un problema debe mostrar tanto un entendimiento conceptual científico como un conocimiento procedimental. Debe decodificar o traducir las palabras dadas en el enunciado del problema en una comprensión significativa del mismo. Por ello se argumenta que el conocimiento científico forma parte de lo que se desarrolla con la resolución de problemas. Varios investigadores han examinado la resolución de problemas y la relación que tiene con el entendimiento conceptual por parte de los estudiantes [5,6].

Esta estrategia, nos dicen Campanario y Moyá, hace explícita la aplicación de los conocimientos teóricos a situaciones problemáticas, fomenta la percepción de la utilidad de los mismos y contribuye, por tanto, a incrementar la motivación intrínseca. Dado que el alumno debe movilizar constantemente sus conocimientos y que existe una interrelación continua entre teoría y aplicación práctica, el aprendizaje basado en problemas puede conseguir una mejor integración de los conocimientos declarativos y procedimentales.

Respecto a las características del aprendiz, Silberman [7] menciona entre los factores que afectan la habilidad de resolución de problemas: la capacidad de razonamiento proporcional, la visualización espacial y la capacidad de memoria.

El cambio conceptual como punto de partida de las ideas constructivistas

En esta sección Campanario y Moyá parten de las cuatro condiciones necesarias para el cambio conceptual, según la teoría de Posner *et al.* [8], inspiradas en las concepciones de Lakatos [9] y Kuhn [10] sobre el avance del conocimiento científico: 1) la insatisfacción de sus concepciones previas, 2) la inteligibilidad, 3) la plausibilidad y 4) el provecho de las nuevas concepciones.

Nos recomiendan las siguientes cuatro estrategias para conseguir montar un aprendizaje constructivista en el salón de clases:

- Las ideas de los alumnos deben formar parte *explícita* del debate en el aula.
- El estatus de las ideas debe ser *discutido* y *negociado* con los estudiantes.
- La *justificación* de las ideas debe ser un componente explícito del programa de estudios.
- El debate en el aula debe tener en cuenta la *metacognición* que desempeña un papel central en el cambio conceptual.

En cuanto a las críticas a estas ideas, plantean que posiblemente es una extensión no debida la que se hace de las

ideas de Kuhn y Lakatos, aplicables al desarrollo de la ciencia, para llevarlas al dominio de la estructuración de conocimientos en los individuos. Luego indican que el conflicto cognitivo no ha demostrado sus virtudes explícitamente y que los contraejemplos o los conflictos no siempre son útiles para provocar el cambio conceptual. Los profesores se quejan de que no tienen a la mano materiales hechos con este enfoque educativo, los cuales son evidentemente escasos [por ejemplo, para la enseñanza de la estructura corpuscular de la materia se cuenta con las propuestas de Nussbaum [11], CLIS [12] y MAM [13], así como la de Martínez-Torregrosa [14] y la de Gomez Crespo y Pozo [15,16], pero son unos pocos maestros los que las conocen a fondo].

Añaden a las críticas de la teoría del cambio conceptual su carácter *frío*, al no considerar los aspectos afectivos y estéticos, así como de los compromisos epistemológicos.

El aprendizaje de las ciencias como un proceso de investigación dirigida

A este respecto, en el artículo Campanario y Moyá se centran en las contribuciones de Gil y colaboradores, en la década de los años noventa. Gil parte de la metáfora del *científico novel*, que puede alcanzar un grado de competencia relativamente elevado si se integra en un grupo de investigación y empieza a desarrollar pequeñas investigaciones en las que replica los trabajos previos de un área determinada y aborda problemas en los que sus supervisores son expertos.

Gil y colaboradores proponen una serie de estrategias:

- Se plantean *situaciones problemáticas* que generen interés en los alumnos y proporcionan una concepción preliminar de la tarea.
- Los alumnos trabajan en grupo y *estudian cualitativamente* las situaciones problemáticas planteadas. Con apoyo bibliográfico, empiezan a delimitar el problema y a explicitar ideas.
- Los problemas se tratan siguiendo una *orientación científica* con emisión de hipótesis, elaboración de estrategias posibles de resolución y análisis, y comparación con los resultados obtenidos por otros grupos de alumnos. Ésta, se dice, es una ocasión para plantear el conflicto cognitivo.
- Los nuevos conocimientos se manejan y aplican a *nuevas situaciones* para profundizar en los mismos y afianzarlos.

Menciona Gil que el cambio conceptual adquiere ahora un carácter *instrumental* y deja de ser un objetivo en sí mismo: “la investigación no se plantea para conseguir el cambio conceptual, sino para resolver un problema de interés. Insiste en que es preciso descargar a los programas de ciencia de contenidos puramente conceptuales y prestar más atención a los aspectos metodológicos, al estudio de la naturaleza del conocimiento científico, a los procesos de construcción del mismo y a la relación ciencia-tecnología-sociedad.

Dicho proceso de investigación dirigida se corresponde, poco más o menos, con el término "Inquiry" o indagación, mencionado en los Estándares Nacionales de la Educación Científica de los Estados Unidos (National Research Council, [17]). Allí se mencionan los siguientes párrafos sobre la indagación:

"La indagación es una actividad multifacética que involucra hacer observaciones, plantear preguntas, examinar libros y otras fuentes de información para ver qué es ya conocido, planear investigaciones, revisar lo que ya se conoce a la luz de la evidencia experimental, usar herramientas para reunir, analizar e interpretar datos, proponer respuestas, explicaciones y predicciones y comunicar los resultados. La indagación requiere la identificación de suposiciones, el uso del pensamiento crítico y lógico, así como la consideración de explicaciones alternativas" (pág. 23)

"La indagación científica se refiere a las diversas formas en las cuales los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo. La indagación también se refiere a las actividades de los estudiantes en las cuales ellos desarrollan conocimiento y entendimiento de las ideas científicas, al igual que la comprensión de cómo los científicos estudian el mundo natural." (pág. 23)

"Los estudiantes que usan la indagación para aprender ciencia se involucran en muchas de las mismas actividades y procesos de pensamiento que los científicos usan para ampliar el conocimiento humano del mundo natural." (pág. 24)

Sin embargo, como lo mencionan Campanario y Moyá, este enfoque educativo se encuentra ya en muchos clásicos, como Locke, Rousseau, Ferrer y Guardia, y Dewey. El educador Joseph Schwab [18] fue una voz influyente en la década de los sesenta en establecer esta visión de la educación científica, basada en la indagación. Schwab arguyó que la ciencia debería verse como estructuras conceptuales que eran frecuentemente revisadas como resultado de nuevas evidencias.

Schwab también sugirió que los profesores de ciencias consideraran tres aproximaciones en sus laboratorios.

- Primero, los manuales de laboratorio o los materiales de los libros de texto podrían emplearse para plantear preguntas y describir los métodos para investigar esas cuestiones, permitiendo a los alumnos descubrir relaciones que no conocían.
- Segundo, los materiales de instrucción podrían usarse para plantear problemas, pero los métodos y las respuestas se dejarían abiertas para que los alumnos las determinaran por sí mismos.
- Tercero, en la aproximación más abierta, los estudiantes podrían confrontar fenómenos sin el uso del libro de texto, mediante preguntas basadas en el trabajo experimental. Los estudiantes podrían hacer preguntas, reunir evidencias y proponer explicaciones científicas con base en sus propias investigaciones.

Hay que recordar que Diana Cruz, José Antonio Chamizo y Hugo Torrens [19] publicaron en el *Journal of Chemical Education* un artículo donde aplican esta estrategia de formación de investigadores en la licenciatura en química.

La enseñanza de las ciencias y el desarrollo de las capacidades metacognitivas

Vale la pena traer a colación alguna definición plausible de metacognición, como aquella de Flavell [20], que dice, "La metacognición se refiere al conocimiento que uno tiene sobre los propios procesos o productos cognitivos o sobre cualquier cosa relacionada con ellos, es decir, las propiedades de la información o los datos relevantes para el aprendizaje. Por ejemplo, estoy implicado en metacognición (metamemoria, metaaprendizaje, metaatención, metalenguaje, etc.) si me doy cuenta de que tengo más problemas al aprender A que al aprender B, si me ocurre que debo comprobar C antes de aceptarlo como un hecho... La metacognición se refiere, entre otras cosas, al control y la orquestación y regulación subsiguiente de estos procesos". Flavell argumenta que la metacognición tiene que ver con el monitoreo activo y la regulación del proceso cognitivo. Representa el sistema "de control ejecutivo" que muchos científicos cognitivos han incluido en sus teorías (por ejemplo Millar, Newel y Simon, o Schoenfeld). El proceso metacognitivo es central a la planeación, a la resolución de problemas, a la evaluación y a muchos aspectos del aprendizaje de lenguaje. La metacognición es relevante en los trabajos sobre los estilos cognitivos y las estrategias de enseñanza, en tanto que el individuo deba tener conciencia de sus razonamientos o de su proceso de aprendizaje [**].

En dos artículos, uno de ellos ulterior a éste que está bajo análisis (Campanario, Cuerva, Moya y Otero, [21]; Campanario, [22]), el mismo Campanario ha desarrollado mucho más a fondo sus ideas sobre la metacognición. Nos dice, por ejemplo, que "cuando un alumno se da cuenta de que le resulta más sencillo resolver problemas de física que contestar preguntas abiertas, o se da cuenta de que sus ideas sobre la validez de un determinado enfoque para la resolución de problemas no son adecuadas, está aplicando estrategias metacognitivas". En otro ejemplo, nos dice que "cuando un alumno intenta formular las ideas principales de un texto con sus propias palabras para comprobar que ha entendido la lección, está también aplicando estrategias metacognitivas".

Señala el mismo autor (Campanario, Cuerva, Moya y Otero, [21]) que en las formulaciones más recientes del cambio conceptual destaca su carácter metacognitivo, puesto que la reflexión sobre el propio conocimiento y el control de los procesos cognitivos por parte del alumno son una componente necesaria del cambio conceptual, ya que el alumno debe per-

** Este párrafo se extrajo del escrito llamado "Metacognición", Livingstone, J. A. consultado el 21 de enero de 2004 de la siguiente URL: <http://tip.psychology.org/meta.html>

catarse de la insatisfacción de sus concepciones previas, así como de la inteligibilidad, plausibilidad y provecho de las nuevas concepciones. Mencionan los autores que una forma posible de desarrollar la metacognición en el marco del cambio conceptual consiste en el empleo de actividades que sigan el esquema de *predecir-observar-explicar*. En este tipo de actividades se hace que los alumnos formulen alguna predicción sobre determinada experiencia o demostración de cátedra, y que expliciten sus razones para tales predicciones (el objetivo es que los alumnos sean conscientes del papel de las ideas previas en la interpretación de los fenómenos). Inmediatamente se observa la experiencia para que los alumnos contrasten el desarrollo y los resultados de la misma con sus predicciones. Por último, los alumnos deben intentar explicar las observaciones realizadas, que en ocasiones serán diferentes a sus predicciones.

En un artículo más reciente (Campanario, 2000) se encarga de desarrollar las estrategias para el profesor y las actividades orientadas para el cultivo de la metacognición por parte de los alumnos. Entre las estrategias básicas que se espera que desarrollen los estudiantes de ciencias destacan: la capacidad de observación, clasificación, comparación, medición, descripción, organización coherente de la información, predicción, formulación de inferencias e hipótesis, interpretación de datos, elaboración de modelos y obtención de conclusiones.

Otra estrategia consiste en hacer que los alumnos lleven un diario de campo en el que registren las experiencias realizadas en clase, sus concepciones iniciales y los procesos de cambio conceptual. Marca igualmente los mapas conceptuales y la V de Gowin como recursos útiles no sólo para el aprendizaje de los contenidos, sino también para el desarrollo de las capacidades metacognitivas.

El diseño de unidades didácticas para la enseñanza de las ciencias

Campanario y Moyá empiezan por presentar la serie de recomendaciones de Sánchez y Valcárcel para el diseño de unidades didácticas. Estos autores proponen cinco componentes a desarrollar en estas unidades:

- a) Análisis científico. El objetivo del análisis científico es doble: la estructuración de los contenidos de enseñanza y la actualización científica del profesor.
- b) Análisis didáctico. Aquí habría que indicar los dos elementos de la capacidad cognitiva del alumno, que es algo crucial para determinar lo que es capaz de hacer y aprender: sus conocimientos previos y el nivel de desarrollo operativo donde se encuentran los alumnos en relación con las habilidades intelectuales necesarias para la comprensión cabal del tema.
- c) Selección de objetivos. Por ejemplo lograr, en una buena proporción de las alumnas y los alumnos, discutir sus concepciones sobre el tema y reexaminarlas, hasta llevarlos a la conclusión de que algunas de sus representaciones

resultan incompletas para explicar otras aplicaciones más específicas.

- d) Selección de estrategias didácticas. Por ejemplo, si se trata de una estrategia constructivista, esta sección podría comenzar con explicitar las ideas de los estudiantes sobre el tema que se va a tratar, después se desarrollarían algunas actividades que ayudarían a los estudiantes a reestructurar sus ideas y finalmente, se proveerá de oportunidades para que los estudiantes revisen y consideren cualquier cambio que resulte en sus concepciones.
- e) Selección de estrategias de evaluación. La mención de los instrumentos utilizados para evaluar el aprendizaje estudiantil.

Luego, Campanario y Moyá pasan a los programas-guía de actividades de Gil, y al uso de experimentos cualitativos de Villani y Orquiza.

Conclusiones

Se revisan en este artículo toda una gama amplia de posibilidades para el profesor de ciencias que desee salir de su enfoque tradicional de enseñanza. Estos enfoques alternos hacen al alumno más responsable de su aprendizaje, el cual se logra con mayor involucramiento del estudiante sea en la resolución de problemas, en incorporación al trabajo de indagación, en la discusión de sus ideas en el salón de clases, en el desarrollo de mecanismos procedimentales para aprender, es decir, cualquier elaboración o aplicación de los conocimientos que constituya una alternativa a la simple memorización de los mismos.

Mencionan que quizás estas propuestas requieren de un mayor tiempo para ser desarrolladas en el salón de clases, por lo que recomiendan reducir los programas de estudios. Finalizan diciendo lo importante que es transmitir estas nuevas alternativas a los docentes en formación. Un profesor, dicen, “debe conocer, además de su disciplina, los puntos de vista vigentes sobre la enseñanza de las ciencias para, tras un análisis crítico, adaptar aquello que encuentre valioso, corregir lo que sea deficitario y aportar, en un proceso de experimentación continuado, nuevas ideas y puntos de vista”.

Bibliografía

1. Hodson, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias* **1994**, 12, 299.
2. Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*, México, Trillas, Segunda edición, **1983**.
3. Herron, J. D. *The Chemistry Classroom. Formulas for Successful Teaching*. Washington. American Chemical Society, **1996**.
4. Gabel, D. L. y Bunce, D. M. “Research on problem solving: Chemistry” En D. Gabel (Edit.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York. Macmillan. **1994**, 301.
5. Pines, A.L. y West, L.H.T Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a source of knowledge framework. *Science Education* **1986**, 70, 583.

6. Nurrenbern, S.C. y Pickering, M. Concept Learning versus Problem Solving: Is There a Difference? *J. Chem. Educ.* **1987**, 64(6), 508.
7. Silberman, R. G. Problems with Chemistry Problems: Student Perception and Suggestions. *J. Chem. Educ.* **1981**, 58, 1036.
8. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. and Gertzog, W. A., Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, **1982**, 66, 211.
9. Lakatos, I., Falsification and the Methodology of Scientific Research Programs, en: *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos and A. Musgrave, editors, Cambridge, Cambridge University Press, **1970**.
10. Kuhn, T.S., *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, **1970**. En español, *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, **1971**.
11. Nussbaum, J. The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase. In R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*, Open University Press: Philadelphia, **1985**, 125-144. Traducido como 'La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa', en *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid: Morata, **1989**.
12. CLIS. Children's Learning in Science Project, Approaches to teaching the particulate theory of matter, Center for Studies in Science and Mathematics Education: University of Leeds, **1987**.
13. MAM, Berkheimer, G. D., Anderson, C. W. and Blakeslee, T. D. with the assistance of Lee, O. Eichinger, D. and Sands, K. *Matter and Molecules*, Science Book and Activity Book, University of Michigan, **1988**. Puede obtenerse de la URL: <http://edweb3.educ.msu.edu/reports/matter-molecules/>
14. Martínez-Torregrosa, J., Alonso-Sánchez, M., Carbonell-Gispert, F., Carrascosa-Alís, J., Domenech-Blanco, J.L., Domenech-Pastor, A., Domínguez-Blay, A., Osuna-García, I. Verdú-Carbonell, R. *La estructura de todas las cosas*, capítulo Estructura corpuscular de la materia, **1997**, 73-100. Editorial Aguacilar. Alicante. Puede obtenerse en la siguiente URL: <http://www.curiedigital.net/>
15. Gómez-Crespo, M. A. y Pozo, J. I. Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. En M. Rodríguez Moneo (compiladora), "Cambio conceptual y educación", *Revista Tarbiya* **2000**, 26, 117.
16. Gómez-Crespo, M. A., Pozo, J. I. y Gutiérrez-Julián, M. S. Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos, *Educación Química* **2004**, 15, 198.
17. National Research Council. *The National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press, **1996**.
18. Schwab, J. *The Teaching of Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, **1966**.
19. Cruz-Garriz, D.; Chamizo, J. A.; Torrens, H. Early research: An alternative for scientific formation, *Journal of Chemical Education* **1989**, 66, 320.
20. Flavell, J.H. Metacognitive aspects of problem solving. En Resnick L.B. (ed.), *The nature of intelligence*, Lawrence Erlbaum: Hillsdale, N.J. **1976**.
21. Campanario, J.M., Cuerva, J., Moya, A. y Otero, J.C. La metacognición y el aprendizaje de las ciencias, en Banet, E. y de Pro, A. (coords.) *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias. Volumen I*, Ponencias presentadas en el V Congreso Internacional sobre Enseñanza de las Ciencias, en Murcia, **1998**, 36-44. Este artículo, puede obtenerse en la siguiente URL: <http://www2.uah.es/giac/ln1.pdf> (último acceso el 12 de abril de 2005).
22. Campanario, J.M. El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno, *Enseñanza de las Ciencias* **2000**, 18(3), 369-380. Este artículo, puede obtenerse en la siguiente URL: <http://www2.uah.es/jmc/an5.pdf> (último acceso el 12 de abril de 2005).