

Evaluación de las competencias de pensamiento científico

José Antonio Chamizo, Mercè Izquierdo

A partir de las recientes aportaciones derivadas de la filosofía de la ciencia se discute el sentido de la actividad científica, reconociendo que la posibilidad de hacer preguntas es una de sus principales competencias. De lo anterior y utilizando la caracterización de Toulmin sobre los problemas y los conceptos se propone una manera de evaluar las competencias de pensamiento científico a través de un instrumento *ad hoc* identificado como diagrama heurístico.

Palabras clave: competencias, pensamiento científico, Toulmin, diagrama heurístico

From the recent contributions derived from the philosophy of science the sense of the scientific activity is discussed recognizing the possibility of making questions, like one of the main competences. Of the previous thing and using the characterization of Toulmin on the problems and the concepts a way sets out to evaluate the competences of scientific thought through an *ad hoc* instrument identified like heuristic diagram.

Key words: competitions, scientific thought, Toulmin, heuristic diagram

Con frecuencia, las trampas del lenguaje nos impiden entender el sentido de una oración y nos empujan a interpretar mal una realidad determinada. Por eso resulta siempre muy útil examinar el contexto en el que se usan las oraciones o en que aparecen los hechos. La descripción de la realidad es, pues, una descripción de los contextos en que la realidad aparece: a partir de esa descripción podemos saber en qué consiste lo que estamos examinando y qué sentido tiene.

J.M. Terricabras
Atrévete a Pensar 2004

Introducción

La ciencia es una de las contribuciones más importantes de la gran aventura intelectual de las sociedades humanas a lo largo de su historia; en ella se concretan la curiosidad y los incansables intentos de representar el mundo en el que vivimos. La ciencia

es una creación humana; es una parte fundamental de la cultura porque su dimensión social, aunque soslayada por muchos, condiciona profundamente las ideas, algunas veces en forma velada pero no por ello menos cierta.

A pesar de la inequívoca importancia de la ciencia en nuestra cultura, la ciencia que se presenta en las escuelas y las universidades y que reproducen la mayoría de los libros de texto no refleja este aspecto, y los profesores encargados de recrearla y transmitirla, seguramente porque no han sido preparados para ello, tampoco lo hacen (McComas, 2000). Prácticamente en todo el mundo se reduce la tradición científica a una receta, el llamado método científico y se olvidan los aspectos culturales. Se obliga a los alumnos a memorizar una vía supuestamente universal para lograr hacerse de 'conocimientos comprobados', la cual no usan ni siquiera en sus propias clases de ciencias y menos aun en los laboratorios (Chamizo, 2004).

En el caso de la química el asunto es aún peor. Con el triunfo, a principios del siglo XX, del positivismo axiomático y teórico como la forma de entender la ciencia, su posición central (marcada inicialmente por su vocación experimental) quedó reducida por la física y utilizada por la biología. Su enseñanza desde esta postura filosófica ha sido severamente cuestionada (Van Aalsvoort, 2004) En pocas palabras, decimos que la química es una ciencia...pero resulta muy difícil decir por qué lo es.

Sobre la Química

La química, tal como la conocemos hoy, es resultado de una multitud de herencias que, concretadas en oficios, influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. No deja de ser sorprendente que prácticas tan diferentes como la del herrero —y la metalurgia—, el curandero —y la farmacia—, el alfarero —y la cerámica—, el panadero —y la biotecnología— hayan podido estar reunidas y terminar por fundirse en un campo común: la química, donde se estudia, se practica y se transmite como transformar la materia (Izquierdo, 2001). Pero esto se lleva a cabo con un método particular, con una forma específica de medir y con un lenguaje propio (Chamizo, 2005a) o también a través de una lógica particular (Jensen, 1998) y de una filosofía específica (Scerri, 2001).

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

² Universidad Autónoma de Barcelona.

La visión acumulativa y reducida de la ciencia propia del positivismo lógico fue severamente cuestionada desde los años sesenta, particularmente por Kuhn (1970), Toulmin (1972) y Laudan (1977). Los dos últimos lo hicieron con su propuesta de que la ciencia avanza a través de la resolución de problemas y el primero por su interpretación del avance de la ciencia a partir de procesos revolucionarios en los que una comunidad científica abandona un paradigma para asumir otro. Desde entonces se ha dado una intensa discusión, aún no resuelta, sobre la naturaleza de la ciencia y de la misma actividad científica (Chalmers, 1999), una de cuyas consecuencias ha sido que los filósofos de la ciencia no han podido demostrar que las leyes pueden ser axiomatizadas ni que pueden derivarse de una disciplina a otra. De hecho hay propuestas de explicación de la ciencia sin necesidad de recurrir a leyes (Giere, 1999).

A partir de todo lo anterior y con las aportaciones provenientes de las ciencias cognitivas, en los últimos años se ha podido construir un mínimo pero certero consenso sobre otras formas de enfrentar los procesos de aprendizaje (Duschl, 1994; Matthews 1994; Justi 2002). Así, para replantear la enseñanza de la ciencia es indispensable aspirar a tener más y mejores docentes, que enseñen a pensar de manera que los alumnos aprendan (Nickerson, 1988). Por ello, y como ya se dijo, no es suficiente, como se ha hecho hasta ahora, profundizar en el conocimiento específico de la asignatura correspondiente (por más que sin duda es fundamental). Es necesario además, incorporar la reflexión sobre la estructura de la ciencia y el papel que ésta ha jugado en nuestra sociedad y, sobre todo, es necesario discutir su dinámica de cambio, puesto que lo que queremos conseguir es que los conocimientos de los alumnos evolucionen hasta hacerlos rigurosos y útiles. Para ello hay que escoger, de entre la enorme cantidad de información generada, aquella que permita desarrollar las competencias requeridas en un mundo cada vez más cambiante y que, por ello, prepare mejor para un futuro que no está predeterminado.

La historia en general y la de la ciencia en particular nos ha enseñado que las que fueron respuestas correctas para preguntas de su tiempo, años después fueron consideradas erróneas. Los héroes se convirtieron en villanos y viceversa. No hay verdades absolutas, sino que *‘la ciencia es más un viaje que un destino’*. Este viaje es el que proponemos a los alumnos a los que enseñamos ciencias; el destino es su propia actuación en un mundo que está por-venir.

En vista de todo lo anterior lo que parece intertergible es el desarrollo de una propuesta educativa inmersa en un contexto social, científico y tecnológico sin perder de vista el uso que el futuro ciudadano dará a la ciencia aun cuando no se dedique a ella. Por eso hablamos de habilidades del pensamiento científico, inspiradas en la historia y la filosofía de la química, y las concretaremos en una actividad crucial: la resolución de problemas (Chamizo 2005).

Sobre la actividad científica

Aceptando el papel central de los problemas en el avance de la ciencia, Toulmin (1972) avanza en la caracterización de los problemas a través de la expresión:

problemas = ideales explicativos – capacidades corrientes

Así, los problemas se presentan en la “distancia” que hay entre aquello a lo que una comunidad o un individuo aspira a comprender (lo que se denomina “ideales explicativos”) y la capacidad que tiene esa comunidad o individuo para alcanzarlo; esta distancia se acorta o desaparece cuando emergen nuevos conocimientos. Ahora bien, esa aspiración se concreta generalmente a través de preguntas y las preguntas que concretan los problemas son preguntas de su tiempo (sobre la combustión, por ejemplo, no se preguntó lo mismo a Lavoisier que Yuan T Lee (Premio Nobel en 1986 por su investigación de la dinámica de procesos químicos elementales) prácticamente 200 años después.

Las preguntas y sus soluciones, los problemas de su tiempo, las leyes y los modelos que permiten reconocer patrones y las teorías sobre el mundo forman parte de una actividad humana (la de los científicos) que incluye lo que estos hacen en sus laboratorios y la manera como ‘viven’ las preguntas que se hacen e intentan responder. Sobre lo anterior la destacada investigadora educativa R. Driver ha dicho (2000):

La actividad principal de los científicos es evaluar cual de entre dos o más modelos rivales encajan con la evidencia disponible y por lo tanto cual representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo

Gracias a este laborioso proceso de lograr que encajen los modelos y los fenómenos del mundo, los conceptos científicos se modifican. Así, los conceptos que ahora se aprenden en la clase de ciencias son el resultado de muchas preguntas, de problemas

resueltos y de problemas sin resolver, de aplicaciones más o menos afortunadas que fueron enigmas en su momento. Por ello integran una complejidad tal que es necesario distinguir en ellos tres características o dimensiones que, así como permitieron construirlos van a permitir utilizarlos: el lenguaje, las técnicas de representación y los procedimientos de aplicación de la ciencia. Los dos primeros se refieren a aquellos aspectos simbólicos de la explicación científica —esto es, al resultado de la actividad científica que llamamos explicar—, una de las formas en las que hacemos públicos nuestros pensamientos, una de las formas en las que una generación le transmite a otra el contenido de una ciencia, una "enculturación". Estos sólo tienen un uso genuinamente explicativo cuando se aplican en el mundo. Así el tercer aspecto comprende el reconocimiento de situaciones a las que son apropiadas estas actividades simbólicas, el entorno.

Estas reflexiones tienen importantes consecuencias para la educación y nos ayudan a precisar lo que entendemos por competencias de pensamiento científico y cómo podemos evaluarlas.

Sobre la evaluación de las habilidades de pensamiento científico

Hablar de 'competencias de pensamiento científico' (el tema que da título a este trabajo) sólo tiene sentido

desde esta perspectiva: la de una ciencia que se vive, que se hace, que evoluciona al ritmo de nuevas finalidades humanas y porque no decae la capacidad humana de formular interrogantes.

¿Qué entendemos por competencias? Hay ahora una intensa discusión sobre el tema (Sarramona, 2005). Brevemente se puede decir que una competencia apela a saber, a saber hacer, a ser, a vivir con otros en situaciones de la vida en las cuales se ha de decidir cómo actuar. Si la competencia tiene que ver con la ciencia, la situación es tal que moviliza conocimientos que no pueden ser 'de libro', sino que corresponden a una actividad científica. Así, no se puede aislar el 'saber científico' de la vida: de sus aplicaciones, de sus implicaciones, de su significado en relación a otras materias. Llegamos así al punto crucial: la ciencia no empieza en los hechos, sino en las preguntas; y las preguntas dependen del marco teórico desde el cual se formulan.

Así, los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. La sociedad en que viven día a día los científicos y/o los docentes y/o los alumnos (los dos últimos en un proyecto de ciencia escolar) determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones, debido a la presencia o ausencia de programas educativos o de investigación científica, de reconocimientos o castigos a la misma actividad y de tolerancia o imposición de áreas de investigación... En pocas palabras, las preguntas que los científicos y/o los docentes y/o los alumnos se hacen corresponden a las que tradicionalmente las sociedades o las escuelas aceptan; pero, en la medida que la escuela actual se abra al futuro y eduque el sentido crítico y la capacidad de decidir razonadamente, pueden emerger nuevas preguntas. Estas nuevas preguntas serán apropiadas para desarrollar competencias y para evaluarlas, pero también harán posible un futuro más creativo, en el cual la ciencia continúe aportando conocimientos sobre el mundo.

Como ya se dijo antes, las preguntas concretan los problemas. Por ello aprender a preguntar es una competencia y aprender a evaluarla es una necesidad (Doran 2002). Como se muestra en la tabla 1 hay varios tipos de preguntas (Chamizo, 2000) y las que aquí nos interesan, las que tienen que ver con el conocimiento científico en el ámbito de una ciencia escolar (Izquierdo 1999) que aspira a que los alumnos sean competentes en pensamiento científico, son las abiertas. Una vez formulada la pregunta que de

Tabla 1. Características de las preguntas.

PREGUNTAS		
Cerradas	Semi	Abiertas
Se contestan en una o dos palabras y la respuesta está en una determinada página de un libro o un cuaderno de apuntes	La pregunta generalmente requiere una o dos oraciones para ser contestada. La respuesta no está en un lugar determinado de un libro o de un cuaderno de apuntes. Sin embargo, si se entiende el material que en ellos presenta se está en posibilidad de responderla.	La pregunta requiere para ser contestada al menos, un párrafo. La respuesta no se encuentra en un solo libro.
La respuesta es correcta o equivocada	La respuesta puede ser correcta si está bien explicada, pero también puede estar equivocada.	La respuesta es correcta si esta de acuerdo con la información mostrada en los libros y/o cuadernos de apuntes y además esta bien explicada
Generalmente empiezan con QUÉ, DÓNDE o CUÁNDO	Generalmente empieza con CÓMO.	Generalmente empiezan con POR QUÉ o QUÉ PASARÍA SI

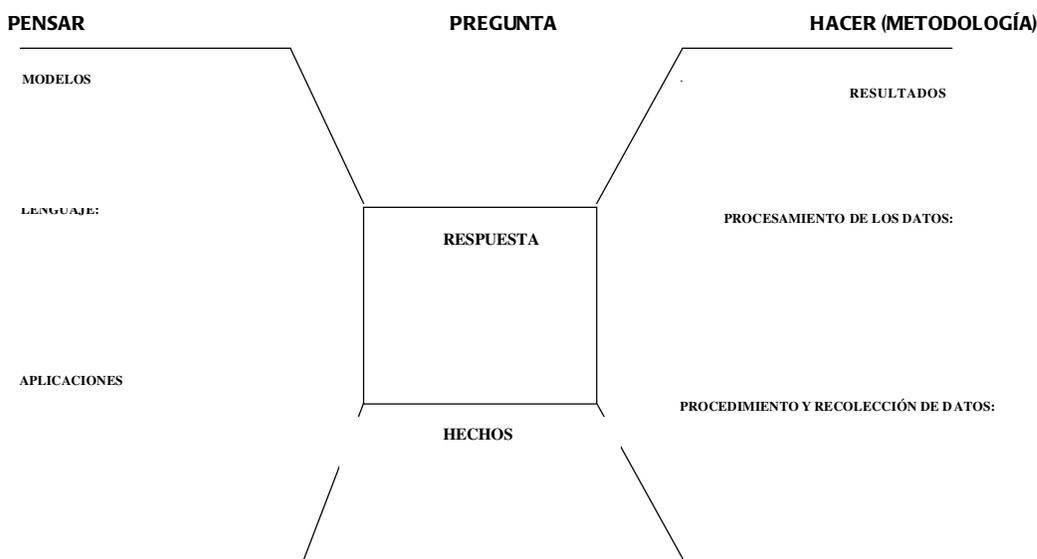


Figura 1. Diagrama heurístico.

alguna manera concreta un problema, la mejor estrategia para abordar su resolución parece ser la diseñada hace unos años por Gowin a través de su ya famosa *Ve* epistemológica o heurística. Esta fue desarrollada en primer término para ayudar a estudiantes y profesores a aclarar la naturaleza y los objetivos de un laboratorio de ciencias y se ha ido modificando y adaptando (Izquierdo, 1995); se puede utilizar para analizar una lectura, diseñar una investigación, preparar una clase, como instrumento para análisis de currículos. Creemos que es también de mucha utilidad en la evaluación de un trabajo teórico y experimental (Chamizo 2000) que deben combinarse adecuadamente para mostrar 'competencia de pensamiento científico'. De ello dicen Novak y Gowin (Novak, 1988):

A pesar de que la elaboración de diagramas *Ve* es una tarea relativamente compleja, nuestra experiencia indica que los estudiantes responden positivamente a ella. Especialmente cuando se compara con los trabajos por escrito, el diagrama *Ve* resulta ser una manera esquemática para poner de manifiesto lo que comprenden los estudiantes acerca de un tema o un área de estudio y también le ayuda a organizar las ideas y la información.

Hemos introducido algunos cambios en la *V* para que ésta cumpla la doble función, de sostener al alumno en su aprendizaje y de proporcionar informaciones al profesor para que pueda ir siguiendo

Figura 2. Registro de aprendizaje del diagrama heurístico.

Puntos	Características
Hechos	
0	No hay hechos
1	Se identifican hechos
2	Se identifican hechos y algunos conceptos
3	Se identifican hechos, algunos conceptos y algunos aspectos metodológicos
Pregunta	
0	No hay pregunta
1	Hay una pregunta basada en los hechos
2	Hay una pregunta basada en los hechos y que incluye conceptos
3	Hay una pregunta basada en los hechos, que incluye conceptos y que sugiere aspectos metodológicos.
Conceptos	
0	No hay conceptos
1	Se identifican las aplicaciones
2	Se identifican las aplicaciones y el lenguaje
3	Se identifican las aplicaciones, el lenguaje y el o los modelos
Metodología	
0	No hay metodología
1	Hay recolección de datos
2	Los datos son procesados, ya sea a través de tablas y/o gráficas
3	Con los datos procesados se obtiene un resultado
Conclusión y/o respuesta	
0	No hay conclusión
1	La conclusión es muy semejante al resultado de la parte metodológica
2	La conclusión incorpora además del resultado de la parte metodológica, los hechos
3	La conclusión incorpora además del resultado de la parte metodológica, los hechos y los conceptos

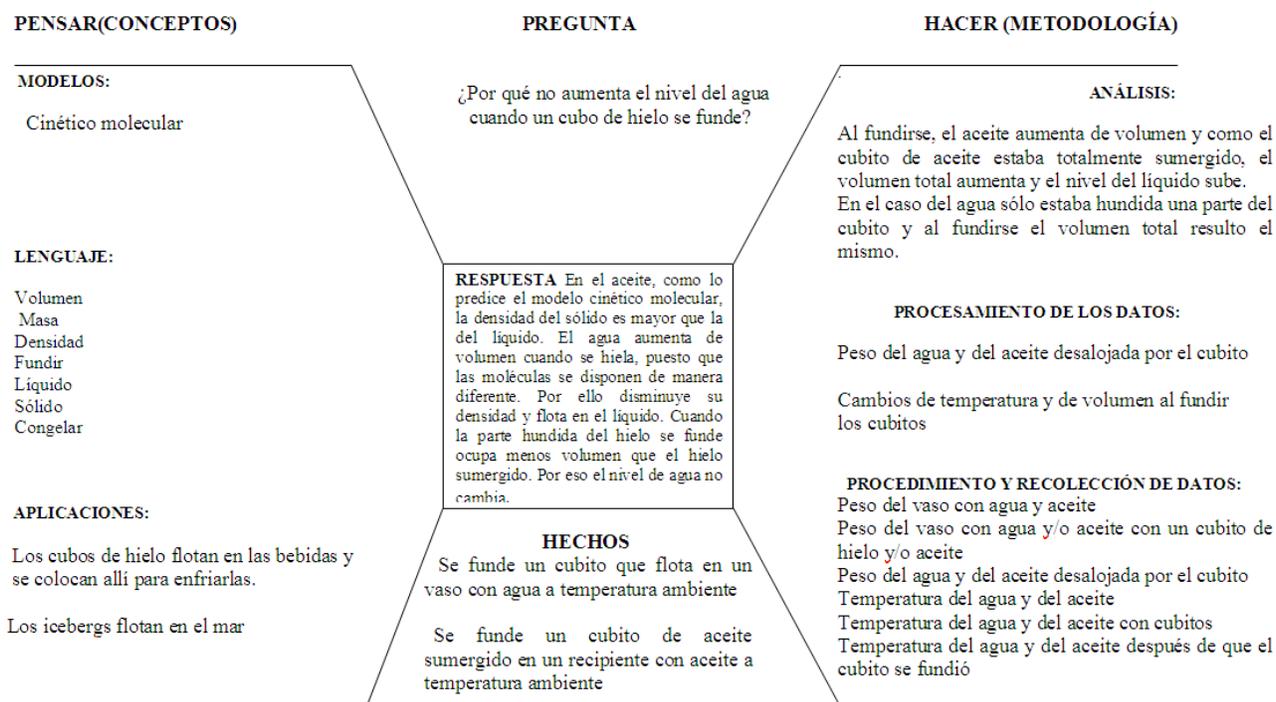


Figura 3. Diagrama heurístico. Ejemplo

este proceso en sus alumnos y, finalmente, evaluarlos (figura 1). El primero es el cambio de nombre por diagrama heurístico. El segundo corresponde a la parte conceptual, el pensar, donde hemos introducido una modificación inspirada en Toulmin (1972). Así a diferencia de otras Vés, en el dado izquierdo de la que aquí proponemos en el lado izquierdo quedan las tres características de los conceptos antes enunciadas: el lenguaje, las técnicas de representación, o los modelos (Izquierdo, 2005) y los procedimientos de aplicación de la ciencia. En la figura 2 facilitamos criterios para su evaluación que buscan integrar entre sí las cuatro partes principales del diagrama (Hechos, Pregunta, Pensar y Hacer) en la respuesta.

En la figura 3 se muestra un ejemplo del uso del diagrama heurístico para responder a la pregunta abierta ¿por qué no aumenta el nivel del agua cuando un cubo de hielo se funde? Como se puede observar en la parte izquierda se indican únicamente los nombres de los conceptos más importantes (los alumnos deben conocer su significado) así como el del modelo cinético molecular (que tampoco aquí se explica, pero que también debe conocerse). En la parte metodológica se ha indicado lo que habría que hacer en lugar de mostrar datos específicos. No hay que olvidar que generalmente hay más de un mode-

lo que puede utilizarse para responder la pregunta y estos modelos tienen asociados una serie de términos propios (por ejemplo, la palabra órbita corresponde al modelo atómico de Bohr y no al de Rutherford). Utilizando el registro de aprendizaje de la figura 2 el diagrama de la figura 3 obtendría entre 13 y 15 puntos (3 para la parte de pensar, de metodología y para la respuesta y a criterio del evaluador entre 2 y 3 para los hechos y la pregunta).

Es importante señalar que el lado derecho y el lado izquierdo del diagrama heurístico están estrechamente relacionados y que se debe asegurar que la pregunta inicial quede debidamente contestada. Cuando se construye uno de estos diagramas, el estudiante está pensando y volviendo a pensar, organizando sus ideas y la información disponible. Esta organización ocurre de acuerdo con la estructura cognitiva de cada uno de los estudiantes y por lo tanto es una construcción única, propia de cada uno de ellos. Cabe hacer notar que para un mismo experimento, las preguntas relevantes pueden ser distintas para diferentes estudiantes; por lo tanto, estas preguntas pueden conducir a considerar como importantes otros registros y transformaciones.

Saber formular preguntas y compartir dudas y soluciones para, así, resolver un problema determinado es una competencia de pensamiento científico

que el diagrama heurístico permite evaluar (y auto-evaluar) de manera certera. ▣

Referencias

- Chalmers F.A., ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? México, Siglo XXI, 1999.
- Chamizo J.A., Hernández G., Evaluación de los aprendizajes. Cuarta Parte: Construcción de preguntas, V de Gowin y examen ecléctico individualizado, *Educación química*, **11**, 182-187, 2000.
- Chamizo J.A. (2004) *Antología de la Enseñanza Experimental*, México, Facultad de Química-UNAM.
- Chamizo J.A. e Izquierdo M., Ciencia en contexto. Una visión desde la filosofía, *Alambique* 46, 9-17, 2005.
- Chamizo J.A., Hacia una cultura química, *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, **56**, 6-16, 2005a.
- Doran R., Chan F., Tamir P., Lenhardt C., *Science Educators's Guide to Laboratory Assessment*, Arlington, NSTA Press, 2002.
- Driver R., Newton P., Osborne J., Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms, *Science Education*, **84**, 287-312, 2000.
- Duschl R.A., Research on the history and philosophy of science. En: Gabel D. (ed) *Handbook of research on science teaching and learning*, New York, MacMillan, p. 445-455, 1994.
- Giere, R.N., *Science without laws*, Chicago, University of Chicago Press, 1999.
- Izquierdo M., La V de Gowin como instrumento para la negociación de los lenguajes, *Aula*, **43**, p. 27-34, 1995.
- Izquierdo M., Sanmartí N., Espinet M., Garcia M.P., Pujol R.M., Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, junio, 79-92, 1999.
- Izquierdo, M., El naixement de la Química Moderna' *Revista de la Societat Catalana de Química*, **2**, 43-48, 2001
- Izquierdo M. and Chamizo J.A., 'Toulmin's concepts and problem characterization in chemistry and chemistry teaching, *Proceedings from the 8th International History and Philosophy of Science teaching Group International Conference*, Leeds, 2005.
- Jensen, W., Does Chemistry have a Logical Structure, *Journal of Chemical Education*, **75**, 679-687; Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education* **75**, 817-828; One Chemical Revolution or Three?, *Journal of Chemical Education* **75**, 961-969, 1998.
- Justi R. Gilbert J.K., Philosophy of chemistry in university chemical education: The case of Models and modeling, *Foundations of Chemistry*, **4**, 213-240, 2002.
- Kuhn T., *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1970.
- Laudan H., *Progress and its problems*, Berkley, University of California, 1977.
- Matthews M.R., *Science Teaching. The role of history and philosophy of scienc*, New York, Routledge, 1994.
- Mc Comas W.F., *The nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*, Kluwer, Dordrecht, 2000.
- Nickerson R.S., Perkins D.N. Smith E.E., *Enseñar a pensar*, Barcelona, Paidós, 1988.
- Novak J. and Gowin R., *Learning how to learn*, New York, Cambridge University Press, 1984.
- Sarramona J., Las competencias básicas y su incidencia en el currículum, en García F. (compilador), *El informe PISA 2003: un enfoque constructivo*, México, Santillana, 2005.
- Scerri, E. R., Philosophy of chemistry—a new interdisciplinary field?, *Journal of Chemical Education*, **77**, 522-525, 2001.
- Toulmin S., *Human Understanding*, Princeton, Princeton University Press, 1972.
- Van Aalsvoort J., Logical positivism as a tool to analyze the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education, *International Journal of Science Education*, **26**, 1151-1168, 2004.