

José Antonio Chamizo
Universidad Nacional Autónoma de México

Mercè Izquierdo
Universidad Autónoma de Barcelona

Evaluación de las competencias de pensamiento científico

A partir de las recientes aportaciones derivadas de la filosofía de la ciencia se discute el sentido de la actividad científica reconociendo la posibilidad de hacer preguntas, como 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.*

Evaluating the Scope of Scientific Thought

Based on recent contributions from the philosophy of science, we discuss the meaning of scientific activity by acknowledging the possibility of asking questions as one of its main strengths. Following on from this and using Toulmin's characterisation of the problems and concepts, we set out a way of evaluating the scope of scientific thought by means of an ad hoc instrument designed as a heuristic diagram.

Keywords: *scope, 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.

(Terricabras, 1999)

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 y profesoras encargados de recrearla y transmitirla, segu-

ramente porque no han sido preparados para ello, tampoco lo hacen (Mc Comas, 2000). Prácticamente en todo el mundo se reduce la tradición científica a una receta, el llamado *método científico* y olvidan los aspectos culturales. Se obliga al alumnado 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 aún 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 cómo 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).

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 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 el alumnado aprenda (Nickerson y otros, 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 esta ha jugado en nuestra sociedad y, sobre todo, es necesario discutir la dinámica de cambio, puesto que lo que queremos conseguir es que los conocimientos del alumnado 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 enseñando 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: «la ciencia es más un viaje que un destino». Este viaje es el que proponemos al alumnado al 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 impostergable 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 la comunidad científica) 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 Driver ha dicho (Driver y otros, 2000):

La actividad principal de los científicos es evaluar cuál de entre dos o más modelos rivales encajan con la evidencia disponible y por lo tanto cuál 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, 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 solo 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) solo 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? Existe 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 la comunidad científica, los docentes y el alumnado (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 la comunidad científica, los docentes y el alumnado se hacen corresponden a las que tradicionalmente las sociedades o las escuelas aceptan; pero, en la medida en 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 (AA.VV., 2002). Como se muestra en el cuadro 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 (AA.VV., 1999) que aspira a que el alumnado sea competente en pensamiento científico, son las abiertas. Una vez formulada la pregunta que de 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 profesorado 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 ex-

Cuadro 1. Características de las preguntas

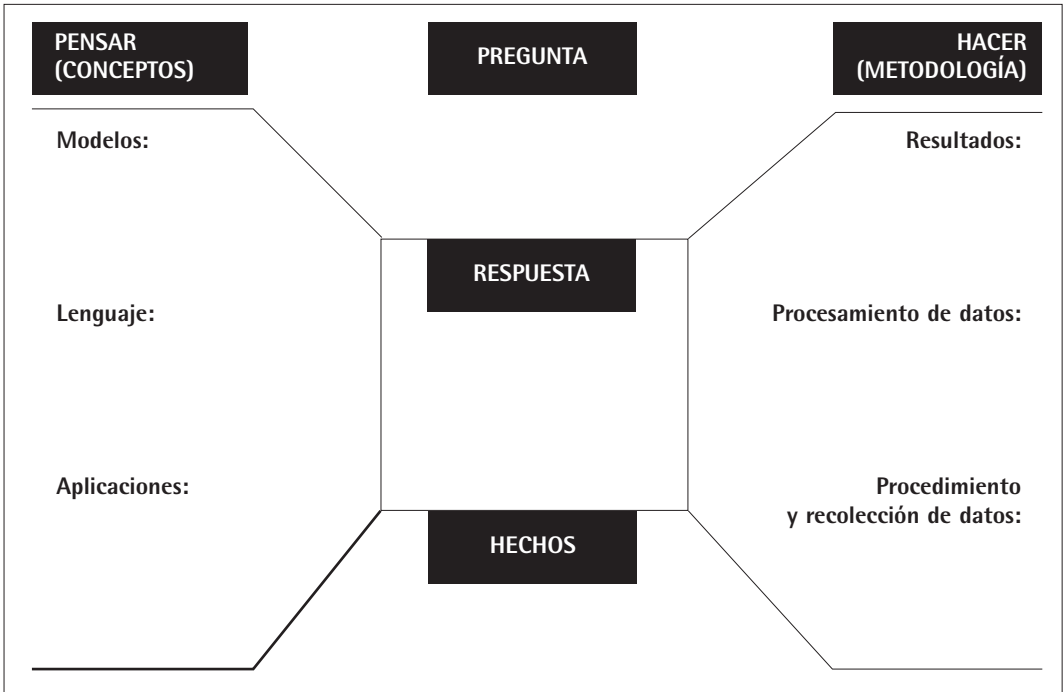
PREGUNTAS CERRADAS	PREGUNTAS SEMICERRADAS	PREGUNTAS ABIERTAS
Se contestan en una o dos palabras y la respuesta está en una determinada página de un libro o un cuaderno de apuntes.	La pregunta generalmente requiere una o dos oraciones para ser contestada. La respuesta no está en un lugar determinado de 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 está de acuerdo con la información mostrada en los libros y/o cuadernos de apuntes y además está bien explicada.
Generalmente empiezan con «Qué», «Dónde» o «Cuándo».	Generalmente empieza con «Cómo».	Generalmente empiezan con «Por qué» o «Qué pasaría si...»

perimental (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 Ve para que esta cumpla la doble función, de sostener al alumnado en su aprendizaje y de proporcionar informaciones al profesorado para que pueda ir siguiendo este proceso en sus estudiantes y, finalmente, evaluarlos (véase la 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 Ves, en 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 el cuadro 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.

Figura 1. Diagrama heurístico



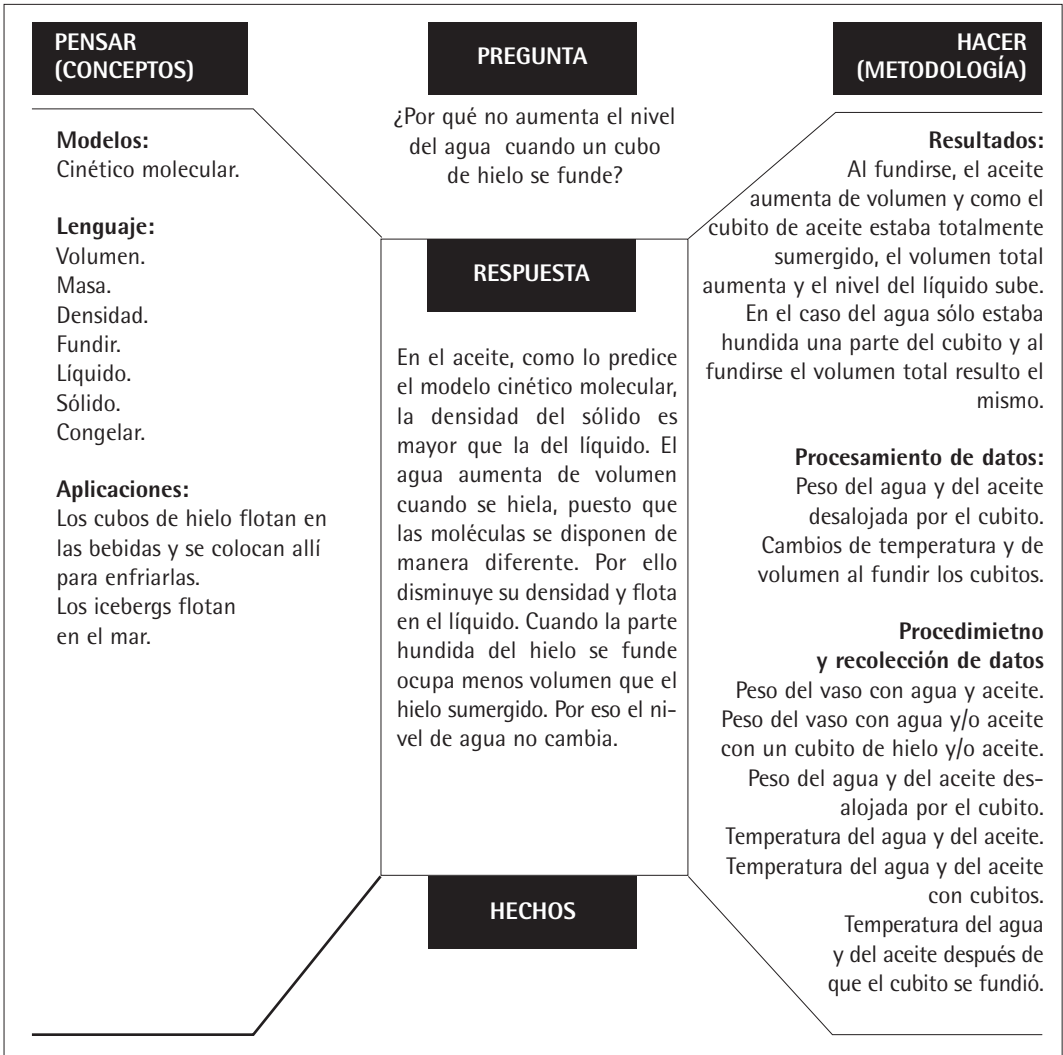
En la figura 2 (véase la p. 17) se muestra un ejemplo del uso del diagrama heurístico para responder a la pregunta abierta: ¿Por qué no aumenta el nivel del agua cuando un cubo de hielo se funde? Como se puede observar en la parte izquierda, se indican únicamente los nombres de los conceptos más importantes (el alumnado debe 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 modelo que puede utilizarse para responder la pregunta y estos modelos tienen asociado 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 del cuadro 2 (p. siguiente), el diagrama de la figura 2 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.

Cuadro 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 modelo o 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 2. Diagrama heurístico



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 autoevaluar) de manera certera.

Referencias bibliográficas

- AA.VV. (1999): «Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar» en *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, junio, 79-92.
- AA.VV. (2002): *Science Educators's Guide to Laboratory Assessment*. Arlington. NSTA Press.
- CHALMERS, F.A. (1999): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* México. Siglo XXI.
- CHAMIZO, J.A.; HERNÁNDEZ, G. (2000): «Evaluación de los aprendizajes. Cuarta Parte: Construcción de preguntas, V de Gowin y examen ecléctico individualizado» en *Educación Química*, n. 11, pp. 182-187.
- CHAMIZO, J.A. (2004): *Antología de la Enseñanza Experimental*. México. Facultad de Química-UNAM.
- CHAMIZO, J.A.; IZQUIERDO, M. (2005): «Ciencia en contexto. Una visión desde la filosofía» en *Alambique*, n. 46, pp. 9-17.
- CHAMIZO, J.A. (2005a): «Hacia una cultura química» en *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, n. 56, pp. 6-16.
- DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. (2000): «Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms» en *Science Education*, n. 84, pp. 287-312.
- DUSCHL, R.A. (1994): «Research on the history and philosophy of science» en D. GABEL (ed.): *Handbook of research on science teaching and learning*. New York. MacMillan. pp. 445-455.
- GIERE, R.N. (1999): *Science without laws*. Chicago. University of Chicago Press.
- IZQUIERDO, M. (1995): «La V de Gowin como instrumento para la negociación de los lenguajes» en *Aula*, n. 43, pp. 27-34.
- IZQUIERDO, M. (2001): «El naixement de la Química Moderna» en *Revista de la Societat Catalana de Química*, n. 2, pp. 43-48.
- IZQUIERDO, M.; CHAMIZO J.A. (2005): «Toulmin's concepts and problem characterization in chemistry and chemistry teaching» en *Proceedings from the 8th International History and Philosophy of Science teaching Group International Conference*. Leeds.
- JENSEN, W. (1998): «Does Chemistry have a Logical Structure» en *Journal of Chemical Education*, n. 75, pp. 679-687.
- JENSEN, W. (1998): «Can we unuddle the chemistry textbook?» en *Journal of Chemical Education*, n. 75, pp. 817-828.
- JENSEN, W. (1998): «One Chemical Revolution or Three?» en *Journal of Chemical Education*, n. 75, pp. 961-969.
- JUSTI, R.; GILBERT, J.K. (2002): «Philosophy of chemistry in university chemical education: The case of Models and modeling» en *Foundations of Chemistry*, n. 4, pp. 213-240.
- KUHN, T. (1970): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago. University of Chicago Press.
- LAUDAN, H. (1977): *Progress and its problems*. Berkley. University of California.
- MATTHEWS, M.R. (1994): *Science Teaching. The role of history and philosophy of science*. New York. Routledge.
- McCOMAS, W.F. (2000): *The nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Kluwer. Dordrecht.

- NICKERSON, R.S.; PERKINS, D.N.; SMITH, E.E. (1988): *Enseñar a pensar*. Barcelona. Paidós.
- NOVAK, J.; GOWIN, R. (1984): *Learning how to learn*. New York. Cambridge University Press.
- SARRAMONA J. (2005): «Las competencias básicas y su incidencia en el currículum» en F. GARCÍA (compilador): *El informe PISA 2003: un enfoque constructivo*. México. Santillana.
- SCERRI, E.R. (2001): «Philosophy of chemistry—a new interdisciplinary field?» en *Journal of Chemical Education*, n. 77, pp. 522–525.
- TERRICABRAS, J.M. (1999): *Atrévete a pensar: la utilidad del pensamiento riguroso en la vida cotidiana*. Barcelona. Paidós.
- TOULMIN, S. (1972): *Human Understanding*. Princeton. Princeton University Press.
- VAN AALSVOORT, J. (2004): «Logical positivism as a tool to analyze the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education» en *International Journal of Science Education*, n. 26, pp. 1151–1168.

*Direcciones
de contacto*

José Antonio Chamizo
Universidad Nacional Autónoma de México
jchamizo@servidor.unam.mx
Mercè Izquierdo
Universidad Autónoma de Barcelona
merce.izquierdo@uab.es