

APROXIMACIONES HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICAS PARA LA ENSEÑANZA DE CONCEPTOS DISCIPLINARES

HISTORICAL-EPISTEMOLOGICAL APPROACHES TO TEACH DISCIPLINARY CONCEPTS

Agustín Adúriz-Bravo

aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

Universidad de Buenos Aires

125

- Resumen

En este trabajo me enfoco en la necesidad de que el profesorado de ciencias naturales de los distintos niveles educativos (desde el inicial hasta el universitario) tome una postura epistemológica explícita y articulada sobre la naturaleza de las disciplinas que enseña. En esta línea, me parece importante que los profesores y profesoras de ciencias realicemos un *análisis histórico-epistemológico* de algunos de los conceptos clave más estructurantes del currículo de ciencias naturales. Me decanto por el tipo de análisis que usualmente se llama 'contextualista' (un análisis propugnado por las actuales metaciencias, primordialmente epistemológico y ambientado en la historia de la ciencia), y justifico sus distintos valores para diseñar una educación científica de calidad para todos y todas. Por último, trato brevemente el campo teórico estructurante de la óxido-reducción en la química, a modo de *estudio de caso* con el fin de modelizar cómo procedería el profesorado de ciencias naturales en la planificación de su tarea de aula.

Palabras clave: aproximaciones histórico-epistemológicas, análisis, contextualismo, valor didáctico, estudio de caso.

- Abstract

In this paper, I focus on the need that science teachers of the different educational levels (from kindergarten to university) take an explicit and articulate epistemological position on the nature of the disciplines that they teach. Along this line, I deem important that teachers perform an *historical-epistemological analysis* of some of the most structuring key concepts of the science curriculum. I opt for the kind of analysis that is usually called 'contextualist' (a kind of analysis suggested by contemporary meta-sciences, mainly epistemological and set in the history of science). I justify its different values for the design of a quality science education for all. I finally treat very briefly the structuring theoretical field of oxidation-reduction in chemistry, as a *case study* in order to model how science teachers would proceed when planning their classroom practice.

Key-words: historical-epistemological perspectives, analysis, contextualism, value for science education, case study.

Necesidad de una Aproximación Histórico-Epistemológica a la Enseñanza de las Ciencias Naturales

En opinión de la didáctica de las ciencias naturales española Mercè Izquierdo-Aymerich (1996, 1999, 2000), para poder enseñar ciencia resulta imprescindible responder a la pregunta de *qué es la ciencia*, es decir, a la pregunta sobre la llamada *naturaleza de la ciencia* (cf. Matthews, 1994; McComas, 1998; Adúriz-Bravo, 2005). Esto es así, entre otras cosas, porque:

1. La epistemología y la historia de la ciencia –en tanto que *metaciencias* (o 'ciencias de segundo orden') que estudian esa naturaleza de la ciencia– fundamentan el currículo de ciencias naturales: sus contenidos, estructura,

secuenciación, profundidad, etc. (cf. Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Develaki, 2007).

2. Las metaciencias proporcionan una 'lente' teórica extremadamente específica para que los ciudadanos y ciudadanas podamos establecer una mirada crítica sobre la ciencia y valorar sus alcances y límites (Adúriz-Bravo, 2005).

3. Los y las estudiantes vienen con sus 'propias ideas' acerca del contenido que van a aprender, ideas que se pueden parecer más o menos estrechamente a otras sostenidas por científicos y científicas a lo largo de la historia de la humanidad (cf. Bueso et al., 1988; Driver et al., 1989; Flores-Camacho et al., 2007).

4. La mirada metacientífica 'humaniza' las ciencias naturales y las acerca a las diferentes audiencias (cf. Acevedo et al., 2005).

Por todo ello, creo necesaria una toma de postura epistemológica por parte del profesorado de ciencias naturales que labora en todos los niveles educativos, desde el inicial hasta el universitario. Es decir, los profesores y profesoras de ciencias deberíamos ser capaces de realizar una exposición explícita y articulada de nuestra posición en torno a cuestiones tales como: cuál es el estatus de validez del conocimiento científico, de qué métodos se valen las ciencias para trabajar, cuáles son las características centrales de la explicación científica, cómo evoluciona el conocimiento científico lo largo del tiempo, o cuáles son las relaciones de la ciencia con la sociedad y la cultura de su época (cf. Adúriz-Bravo, 2005). Esto lleva, a mi juicio, a la necesidad de que los profesores y profesoras de ciencias analicemos en profundidad los contenidos a enseñar *desde una perspectiva metacientífica*.

Ahora bien, los enfoques 'puramente' epistemológicos, en tanto que herramienta analítica muy afinada, son sin duda importantes para la investigación y la innovación en la *didáctica* de las ciencias naturales, pero

pueden tener una utilidad más bien limitada para la práctica de la *enseñanza* de las ciencias naturales en las aulas de los distintos niveles educativos, dado su nivel de abstracción y generalidad. En este sentido, adhiero al *dictum* de Imre Lakatos (1982: 11), cuando, parafraseando a Immanuel Kant, dice que la epistemología sin la historia de la ciencia es vacía y la historia de la ciencia sin la epistemología es ciega. Me parece que, a la hora de enseñar, la naturaleza de la ciencia ha de combinar aportaciones de ambas metaciencias para ser genuinamente *educativa* (Adúriz-Bravo, 2005, 2008b). Según esto, la epistemología proveería de constructos para pensar sobre la ciencia *en el marco de episodios específicos* modelizados por la historia de la ciencia.

Existen diferentes formas de 'mirar' el contenido científico a enseñar desde la epistemología y la historia de la ciencia sinérgicamente combinadas. Sin ánimo de exhaustividad, puedo señalar aquí las siguientes:

1. Los 'análisis de contenido' *sincrónicos*, hechos sobre un determinado momento en el tiempo que representa un corte intencionado de la historia de la ciencia.
2. Los análisis de la historia de la ciencia *diacrónicos*, a grano grueso, buscando patrones generales de acumulación, evolución, revolución o progreso.
3. Los análisis de la evolución conceptual *à la* Toulmin hechos sobre determinados campos del saber humano (cf. Estany e Izquierdo-Aymerich, 1990).
4. El uso de la historia de la ciencia como 'escenario' para ambientar la discusión epistemológica (cf. Adúriz-Bravo e Izquierdo-Ayermich, 2009a).

5. Los análisis *externalistas*, buscando las condiciones de posibilidad del conocimiento científico en la matriz de relaciones sociales históricamente situada.

6. El uso de utillaje epistemológico específico para pensar en algunos aspectos concretos de la ciencia como actividad epistémica. 7. El análisis histórico-epistemológico *sensu stricto*, que es del cual quiero ocuparme en este trabajo.

- El Análisis Histórico-Epistemológico

A mi juicio, el análisis histórico-epistemológico propiamente dicho se podría definir, en primera aproximación, como un *análisis epistémico, principalmente internalista, de un determinado campo conceptual en la historia de la ciencia.*

Hablo de 'análisis' porque supongo una descomposición cuidadosa del contenido a enseñar con el fin de construir un texto *argumentativo* que lo fundamente metacientíficamente. Hablo de un análisis 'epistémico' porque considero que este está centrado en el *contenido* modeloteórico, y es de corte validatorio o justificatorio. Hablo de un análisis 'internalista' porque creo que este se concentra con mayor vigor en las variables 'internas', propias de la dinámica del conocimiento. Hablo de efectuar el análisis sobre un 'campo (teórico estructurante)' (Adúriz-Bravo, 2008a) porque estimo necesario dar estructura al contenido científico a estudiar organizándolo alrededor de problemas o preguntas vertebradores. Y pienso en un análisis hecho en diferentes escalas históricas, más micro o más macro.

El análisis histórico-epistemológico tiene una larga tradición en la historia de la epistemología como disciplina académica; puedo mencionar aquí, a modo de *epítomes* (esto es, ejemplos paradigmáticos), los estudios hechos por el positivismo comtiano, el neoempirismo machiano, Gaston Bachelard (autor con gran influencia en nuestra disciplina), la concepción heredada, y la nueva filosofía de la ciencia de cariz 'historicista' (donde, sin duda alguna, estos

análisis cobraron nuevo sentido y alcanzaron su momento de máximo esplendor)... También las llamadas 'epistemologías específicas' (filosofía de la física, la química, la biología...) recurren extensamente a este tipo de abordajes. En las corrientes recientes y actuales de la epistemología se recupera la importancia de analizar el contenido científico, pero ahora ya desde modelos 'contextualistas', *moderadamente realistas y racionalistas* (cf. Izquierdo-Aymerich, 2000; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Adúriz-Bravo, 2005). Se propugna por una aproximación que establece relaciones complejas entre la ciencia y su espíritu de época y que se presenta menos científicista y dogmática que las anteriores.

La propia didáctica de las ciencias naturales, por su parte, también recurre al análisis histórico-epistemológico para entender la naturaleza de los conceptos a enseñar¹. Esto es particularmente cierto para los seguidores de la tradición francesa, que está en fluido y estrecho diálogo con la didáctica de la matemática, disciplina que ha venido utilizando este análisis como una herramienta frecuente (cf. Artigue, 1991), aunque también puede aplicarse a la tradición anglosajona, en especial, a aquella de corte neopiagetiano (cf. Sfard, 1991). Desde esta línea de trabajo, el valor didáctico del análisis histórico-epistemológico estribaría en el hecho de que

"permite recuperar la complejidad de los objetos estudiados y *ensanchar* nuestras concepciones epistemológicas; amplía la capacidad del investigador para investigar las conductas y respuesta de los alumnos; provee de insumos para pensar una problematización adaptada al aula." (Bergé y Sessa, 2003: 166; subrayado en el original)

En líneas generales, podríamos decir que el análisis histórico-epistemológico de un conocimiento de referencia

¹Ver, por ejemplo: Badillo et al. (2001); Camacho González et al. (2007); García (2009); Lorenzetti y Delizoicov (2009); Revel Chion y Meinardi (2009).

“tiene por objetivo entender su naturaleza, su significado y sentido al determinar las causas que posibilitaron su aparición, identificar las diferentes etapas de su construcción en el ámbito científico, así como las condiciones de sus transformaciones sucesivas hasta llegar al aula como objeto de enseñanza.” (Martínez-Sierra y Poirier, 2008: 202)

Siendo ya más específicos, un análisis histórico-epistemológico con finalidad didáctica, hecho con las herramientas intelectuales disponibles en la epistemología contemporánea de línea *semántica* (que es la que me interesa para la didáctica de las ciencias naturales: Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009b), se concentraría, a mi juicio, en las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo ha llegado a ser lo que es un determinado campo conceptual?

Interesa dilucidar su génesis, evolución y desarrollo, tomando en cuenta sus condiciones de posibilidad internas y externas y sus relaciones bidireccionales con otros campos conceptuales y con las demás actividades humanas.

2. ¿Qué dificultades principales han aparecido en su constitución?

Interesa vislumbrar los obstáculos epistemológicos (cf. Bachelard, 1972) que rodean la construcción del saber científico, así como su articulación con el saber de sentido común.

3. ¿Cómo 'ilumina' el análisis anterior la enseñanza de tal campo conceptual en un determinado nivel educativo?

Interesa utilizar las reflexiones anteriores para entender los mecanismos de transposición didáctica (cf. Chevallard, 1991) que llevan desde este campo conceptual hacia el saber a enseñar y para fundamentar las decisiones tomadas en la acción docente.

- **Análisis Histórico-Epistemológico del Campo de la Óxido-Reducción**

A modo de 'estudio de caso', trataré brevemente el campo teórico estructurante de la oxidación y la reducción en la química, intentando que la discusión sirva como epítome de análisis histórico-epistemológico con valor educativo, de modo de esbozar algunas 'directrices' para que el profesorado de ciencias naturales lo pueda implementar en su práctica profesional.

132

Parto del supuesto de que la óxido-reducción se estructuraría o se constituiría a partir de tres campos en algún sentido 'preexistentes' (al menos, preexistentes a algún nivel de formulación histórico de creciente complejidad):

1. Los **ácidos y bases**, con las primeras ideas acerca de la formación de compuestos binarios con participación del oxígeno, que manifiestan carácter ácido, básico o 'intermedio' (anfótero).
2. La **electroquímica**, con las primeras ideas acerca de la movilidad y transferencia de electrones –y cargas eléctricas en general– en las reacciones químicas.
3. La **ciencia de materiales**, con las primeras ideas acerca del diseño eficiente de materiales con propiedades 'a medida' para distintas finalidades y usos, trabajando sobre los enlaces químicos, sus características y propiedades.

En este trabajo, y por razones de espacio, me ocuparé sólo de la relación entre óxido-reducción y ácidos y bases, enfocándome en los inicios del paradigma propugnado por Antoine-Laurent de Lavoisier y sus seguidores.

La oxidación de los metales es un fenómeno muy conocido desde la antigüedad, de gran importancia sociocientífica (para la arquitectura, la religión, el arte, la joyería, la economía, el transporte, la guerra, la industria...). De allí, entre otras muchas cosas, la significatividad histórica que tuvieron los metales 'nobles' o 'preciosos' (de gran inercia química), o el hito que supuso la fabricación del acero inoxidable. Este fenómeno es 'revisitado' dentro de un nuevo paradigma emergente en los albores de la tantas veces calificada de 'química moderna', a fines del siglo XVIII.

En ese contexto, surge la idea lavoisieriana de oxidación como combinación de una sustancia con una parte del aire, y el *oxigenismo* se impone como una nueva forma de hacer (unas nuevas 'reglas del juego') frente al *flogistonismo* de Scheele y Stahl (cf. Kuhn, 1971; Izquierdo-Aymerich, 1996, 1999, 2000; Cartwright, s/f). El ascenso de uno de los paradigmas y la declinación del otro se nos presentan como la pugna entre dos *ejemplares* (epítomes kuhnianos): la *calcinación del plomo* y la *oxidación del mercurio*.

La oxidación lavoisieriana es conceptualizada, en el momento del 'triumfo' del nuevo paradigma, como la *formación de óxidos [ácidos]*²; de allí la generalizada aceptación del nuevo nombre de 'oxígeno' para una sustancia descrita al mismo tiempo por distintos investigadores.

²Si bien los óxidos lavoisierianos son en su mayoría técnicamente anfóteros, la posibilidad de derivar de ellos ácidos refuerza la errónea idea inicial de Lavoisier acerca del *oxi-geno*, 'engendrador de ácidos', como principio acidificador.

Esta parcial identificación inicial de la oxidación con el campo de los ácidos nos remite al saber clásico sobre este 'tipo' químico³:

1. el ácido griego (*ὄξύς, oxys*), como un material 'punzante', 'agudo', 'filoso', 'puntiagudo' al gusto o al tacto; y 2. el ácido latino (*acidus*), como un material 'agrio', 'acre', 'áspero', 'molesto', vinculado a la transformación del vino viejo en vinagre.

Este análisis somero nos arroja una primera luz sobre el trabajo de la oxidación en la enseñanza de las ciencias naturales. La concepción griega nos habla de la bien conocida *sustancialización*, o atribución de propiedades macroscópicas a las partículas (cf. Flores-Camacho et al., 2007). La concepción romana nos habla de la 'metodología superficial' (cf. Carrascosa y Gil-Pérez, 1985) de concentrarse en el cambio o en la transmutación, más que en lo que se conserva o en lo que se mantiene constante. Estos dos obstáculos persisten en las aulas de ciencias naturales del siglo XXI.

Avanzando un poco más desde esta primera identificación, vemos que, desde el sentido común, la oxidación es conceptualizada como 'herrumbre' o 'corrosión' de los metales expuestos a la intemperie, un fenómeno cotidiano que evoca dos explicaciones encontradas (cf. Barke et al., 2009):

1. el metal se oxida en el sentido de que 'es atacado por el óxido', y de allí expresiones como: *se herrumbró, se corroyó, se deslució, se ennegreció, se cubrió de una pátina, se cubrió de óxido...*; o 2. el metal se oxida en el sentido de que 'le sale óxido', y de allí expresiones como: *le apareció orín, robín, verdín, o cardenillo, se descascaró, se pudrió...*

³Me concentro sólo en los ácidos, pero un análisis similar podría hacerse sobre las bases o álcalis.

Ahora bien, y en parte a causa de la gran importancia histórica que tuvo en la estructuración de un nuevo modo de pensar el mundo, esta *oxidación*₁ (restringida, con participación de oxígeno) funciona como epítome para la *oxidación*₂ (generalizada, involucrando cambios en los números de valencia), generando gran cantidad de concepciones alternativas (cf. Bueso et al., 1988; Barke et al., 2009) y haciendo que, al menos en parte, la ontogenia refleje determinados aspectos de la filogenia.

La enseñanza, entonces, de la *oxidación*₂ tendría cierto parecido con la enseñanza del concepto de acidez siguiendo la clásica serie Arrhenius/Brønsted-Lowry/Lewis, en el sentido del juego de 'muñecas rusas' que hay que establecer con los y las estudiantes en clase para que ellos asciendan por los crecientes grados de generalidad e inclusividad de los sucesivos conceptos de ácido o de óxido.

El análisis histórico-epistemológico aquí esbozado podría continuarse en los campos de la electroquímica (que, a modo de hipótesis de trabajo, propongo como un buen contexto para la introducción de los primeros recursos semióticos más 'formales', propios de la estequiometría: cf. Izquierdo-Aymerich y Merino, 2009) y de la ciencia de materiales. Además, se podría traer a colación otro campo teórico más, desde la disciplina bioquímica: el del *metabolismo*; por ejemplo, organizando una discusión crítica en torno a la llamativa frase de la *Wikipedia* acerca de que "la propia vida es un fenómeno redox".

- **Una Actividad Didáctica Pivotaada en el Análisis Histórico-Epistemológico**

Para terminar, pongo a consideración de los lectores y lectoras una actividad didáctica para trabajar en clases de educación superior, en el contexto de la formación inicial del profesorado de ciencias naturales. La propuesta es mirar la óxido-reducción, 'ambientada' en un episodio histórico, haciendo valer la moraleja extraída a partir del análisis sugerido en este trabajo.

La actividad, en torno a un 'recorte' de la vida y obra de Madame Curie, se llama "Una reducción honorable", haciendo un juego de palabras con el título del conocido libro de Françoise Giroud (1981), *Une femme honorable*. En esta actividad, la reducción del cloruro de radio a radio metálico es considerada 'honorable' en dos sentidos: 'honrosa', porque Maria Skłodowska-Curie no patentó ni esconde las técnicas de purificación del radio a partir de la peblenda, legándolas a la humanidad; y 'honorada', porque le vale su segundo premio Nobel, esta vez en química.

La actividad se centra en la pregunta de por qué 'festejamos' el aniversario del descubrimiento del radio contando los años desde 1898, si el cloruro de radio se obtuvo en forma relativamente pura recién en 1901 y el radio metálico se preparó por primera vez en 1910 (cf. Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009a). Intentar responder a esta pregunta con los profesores y profesoras de ciencias naturales en formación nos permite hacer foco en la *reducción* del mineral (¡sin oxígeno!) a metal libre, por electrólisis, en un episodio históricamente significativo, con muchas implicancias sociocientíficas, y educativamente muy valioso.

Con estos apuntes, necesariamente breves, he querido mostrar que se pueden retomar con provecho, en el aula de ciencias naturales, los elementos discutidos escuetamente en el análisis histórico-epistemológico hecho más arriba, y argumentar a favor de mi tesis de que tal tipo de análisis nos posiciona mejor para la enseñanza de las ciencias naturales.

- Referencias Bibliográficas

Acevedo, J.A., Vázquez, Á., Martín, M., Oliva, J.M., Acevedo, P., Paixão, M.F. y Manassero, M.A. (2005). Naturaleza de la ciencia y educación científica para

la participación ciudadana: Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 121-140.

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Adúriz-Bravo, A. (2008a). A proposal to teach the nature of science (NOS) to science teachers: The 'structuring theoretical fields' of NOS. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 1(2), 41-56.

Adúriz-Bravo, A. (2008b). Áreas de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales: La naturaleza de la ciencia, en Merino Rubilar, C., Gómez Galindo, A. y Adúriz-Bravo, A. (coords.). *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales*, 111-125. Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009a). A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science & Education*, 18(9), 1177-1192.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009b). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, número especial 1, 40-49.

Artigue, M. (1991). Epistémologie et didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 10(2-3), 241-286.

Badillo, E., Adúriz-Bravo, A. y Azcárate, C. (2003). Estudio del pensamiento de profesores de matemática en ejercicio acerca de la paradoja de Aquiles y la tortuga, en Adúriz-Bravo, A., Perafán, G.A. y Badillo, E. (comps.). *Actualización en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas*, 35-59. Bogotá: Editorial Magisterio.

Bachelard, G. (1972). *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires: Siglo XXI. (Original en francés de 1938.)

Barke, H.-D., Hazari, A. y Yitbarek, S. (2009). Misconceptions in chemistry: Addressing perceptions in chemical education. *Dordrecht: Springer*.

Bergé, A. y Sessa, C. (2003). Completitud y continuidad revisadas a través de 23 siglos: Aportes a una investigación didáctica. *Revista Latinoamérica de Investigación en Matemática Educativa*, 6(3), 163-197.

Bueso, A., Furió, C. y Mans, C. (1988). Interpretación de las reacciones de oxidación-reducción por los estudiantes: Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 244-250.

Camacho González, J.P., Gallego Badillo, R. y Pérez Miranda, R. (2007). La ley periódica: Un análisis histórico, epistemológico y didáctico de algunos textos de enseñanza. *Educación Química*, 18(4), 278-288.

Carrascosa, J. y Gil-Pérez, D. (1985). La "metodología de la superficialidad" y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 113-120.

Cartwright, J. (s/f). *Del flogisto al oxígeno: Estudio de un caso práctico en la revolución química*. Materiales de Historia de la Ciencia, 1. Tenerife: Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.

Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique. (Original en francés de 1985.)

Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.

Driver, R., Guesne, É. y Tiberghien, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata. (Original en inglés de 1985.)

Estany, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. *Llull*, 13, 349-378.

Flores-Camacho, F., Gallegos-Cázares, L., Garritz, A. y García-Franco, A. (2007). Incommensurability and multiple models: Representations of the structure of matter in undergraduate chemistry students. *Science & Education*, 16(7-8), 775-800.

García, E. (2009). Historia, epistemología y enseñanza de las ciencias: Caso mecánica de fluidos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 1256-1260.

Giroud, F. (1981). *Une femme honorable: Marie Curie*. París: Fayard.

Izquierdo-Aymerich, M. (1996). Relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21.

Izquierdo-Aymerich, M. (1999). *Memoria de acceso a la plaza de catedrática*. Documento interno. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.

Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.

Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. (Original en inglés de 1962.)

Lakatos, I. (1982). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos. (Original en inglés de 1971.)

Lorenzetti, L. y Delizoicov, D. (2009). Estilos de pensamento em educação ambiental: Uma análise a partir das dissertações e teses. *Anais do VII ENPEC*, nº 363. [En línea.]

Martínez-Sierra, G. y Poirier, F.B. (2008). Una epistemología histórica del producto vectorial: Del cuaternión al análisis vectorial. *Latin American Journal of Physics Education*, 2(2), 201-208.

Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.

McComas, W. (ed.) (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.

Izquierdo-Aymerich, M. y Merino, C. (2009). Los modelos en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 3489-3491.

Revel Chion, A. y Meinardi, E. (2009). Análisis histórico-epistemológico de las concepciones de salud desde una perspectiva didáctica: Narrando la "historia" de la peste negra medieval. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 168-172.

Sfard, A. (1991) On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics*, 22, 1-36.