

EL ERROR COMO OBJETO DE DISCURSO Y DE APRENDIZAJE DENTRO DE LOS PROCESOS DE MODELIZACIÓN CIENTÍFICA

Silvia Lizette Ramos de Robles y Mariona Espinet
Universidad Autónoma de Barcelona

Nuestro contexto y objeto de estudio

Este trabajo forma parte de un estudio centrado en el conocimiento y la comprensión de los procesos de modelización científica desarrollados en contextos multilingües dentro de la formación inicial del profesorado de primaria en la Universidad Autónoma de Barcelona. Los datos fueron tomados en la asignatura Didáctica de las Ciencias desarrollada bajo el enfoque CLIL (Content and Language Integrated Learning) que promueve la enseñanza simultánea del contenido disciplinar y una nueva lengua (en nuestro caso el inglés). Se analizan las interacciones comunicativas de dos equipos de estudiantes en una actividad experimental sobre la germinación de semillas a través de la cual construyen el modelo de ser vivo. Durante la interacción identificamos que el estudio del error o de los fracasos representó un elemento clave para que los estudiantes llegaran a construir un modelo explicativo más completo y complejo. Para ilustrar esta situación se presentan viñetas donde el error se convierte en objeto de discurso y ayuda a la mejora de las explicaciones científicas. Asimismo, las experiencias de éxito y fracaso en la germinación de las semillas establecieron marcadas diferencias en la participación de los estudiantes durante la negociación de significados.

Modelos y modelización en la didáctica de las ciencias

La utilización de modelos para la enseñanza de los contenidos científicos ha representado una de las herramientas pedagógicas más valiosas y con mayores efectos positivos para el aprendizaje (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2005). Asimismo reconocemos que las propuestas sobre el uso de modelos en las clases de ciencias tienen una base epistemológica bastante consolidada (Giere, 1998; Halloun, 2007). Sin embargo, siendo el campo tan amplio identificamos una gran variedad de concepciones sobre el uso del término *modelo*, cada una influenciada por la visión que se tiene de ciencia y actividad científica (Sensevy, *et al.*, 2008). En nuestro caso, nos posicionamos dentro de la *ciencia escolar* (Izquierdo *et al.*, 1999), y abordamos el concepto de modelo desde un enfoque cognitivo y una visión semántica (Giere, 1998) cuya función principal es su capacidad para otorgar sentido y significado, y donde el lenguaje es toma un papel central en la construcción de significados. Así los modelos son entidades más o menos ajustadas al mundo en ciertos aspectos y para determinados propósitos (Izquierdo & Aliberas, 2004); estructuras elementales de teorías y mediadores entre la teoría y la realidad.

En consecuencia, la modelización científica es una dinámica constante de creación de modelos teóricos que implica reconstruir un hecho del mundo en un hecho científico (Izquierdo & Adúriz, 2001). La modelización se basa en la distinción de diversas capacidades cognoscitivas del individuo las cuales a su vez se presentan en diferentes dimensiones, irreducibles una a la otra: a) El *pensamiento*; opera mediante representaciones de la realidad, y en ciencias corresponde a las teorías científicas o conocimiento; b) La *experiencia*; se deriva de la capacidad de

desarrollar actividades de transformación del mundo y en ciencias corresponden a la experimentación; y c) La comunicación; se manifiesta mediante diversos *lenguajes*, y en ciencias corresponde a los especializados de las disciplinas. (Arcá, *et al.*, 1997; Izquierdo, *et al.*, 1999).

Bajo esta idea de modelización científica, cuya dinámica implica una constante búsqueda de explicaciones de los fenómenos del mundo, consideramos que el análisis de los errores producidos en ese proceso es una de las herramientas más poderosas. Coincidimos con Mammino (2002) al considerar los efectos positivos de estudiar el error en las clases de ciencias, entre ellos interesa destacar que: a) Atrae la atención hacia detalles que no son fácilmente individualizados en una simple lectura; b) Favorece la identificación de la variedad de aspectos de cada concepto; c) Alcanza un impacto considerable en términos de esclarecer el nivel de los conceptos individuales y de las construcciones más complejas, como los modelos; d) Constituye una forma de «amonestación» interior contra la repetición de errores ya encontrados.

Metodología

Los datos se obtuvieron en una secuencia didáctica de tres actividades cuya finalidad consistió en construir el modelo teórico escolar de ser vivo. Utilizamos la germinación de semillas como principal actividad experimental. Las actividades consistieron en: a) entrega de semillas a los estudiantes para que en 15 días y en un contexto cotidiano trataran de hacerlas germinar, b) los estudiantes organizados en equipos en el laboratorio escolar, comparten sus resultados e indagan los elementos esenciales para la germinación, y, c) plenaria y construcción grupal de un modelo consensuado.

El análisis de datos corresponde al punto dos donde se trabaja en pequeños grupos de discusión. Las interacciones fueron audio y video grabadas. Posteriormente seleccionamos dos equipos (Equipo 1 y Equipo 2) para realizar las transcripciones completas. Dichas transcripciones se dividieron en unidades de análisis bajo dos criterios: a) cambio de tema, y, b) cambio en el uso de lenguas (catalán, castellano e inglés). Cada unidad fue analizada desde los 3 ámbitos de la modelización: *Pensamiento-modelo, experiencia y lenguaje*. Este análisis permitió establecer categorías y caracterizar cada ámbito; así como identificar viñetas en donde se produjera un avance significativo en la construcción de un modelo más complejo y abstracto. Dentro de estas viñetas identificamos aquellos momentos donde los estudiantes analizaron y reflexionaron sobre los experimentos que fallaron o que no dieron los resultados esperados y que contribuyeron a la mejora de las explicaciones científicas del fenómeno.

Resultados

El error como objeto de estudio y de discurso que enriquece el modelo

Uno de los hechos que causó gran discusión dentro de la actividad experimental estuvo pautado por la constante comparación entre las semillas germinadas y las que no habían brotado (denominadas por los estudiantes como éxitos y fracasos). No obstante, la importancia otorgada a los fracasos fue diferente en cada equipo, y ello marcó una diferencia significativa a favor de quienes los consideraron como verdaderos indicadores del proceso, ya que les ayudó para avanzar en la elaboración de un modelo más completo y complejo sobre los procesos de germinación y crecimiento. Las siguientes viñetas ilustran lo que hemos denominado como "*lenguaje del error*", el cual surge con la identificación de los fallos y con la necesidad de discutirlos, explicarlos y comprenderlos. Para lograrlo las principales estrategias consistieron en compararlos con los éxitos.

Iniciando por el Equipo 1 que fue el que destacó dicha importancia, nos damos cuenta que desde el inicio de las interacciones manifiestan la necesidad de explicar por qué no han crecido algunas semillas. Los supuestos se asocian principalmente con un mal manejo de las cantidades de los factores esenciales (principalmente de agua, soporte y luz). Por ejemplo:

A2.- Y lo mío es que no estaban en un sitio oscuro, oscuro, estaba medio oscuro medio claro. (Líneas 19-20, Unidad 3, Equipo 1).

A2.- Yo creo que mi problema es (...) hay algodón, mongeta y mucho algodón. Y ella (A5) tiene menos algodón. (Líneas 27-28, Unidad 5, Equipo 1).

A1.- Yo hice, algodón, algodón, algodón y mongetas arriba. Y desastre total eh. Desastre! (Líneas 29-30, Unidad 5, Equipo 1).

A3.- [toma un frasco saca el algodón húmedo] Yo hice esto pero está más podrido que (...) [se ríe]. (Líneas 31-32, Unidad 5, Equipo 1).

Después de estos primeros momentos en que van compartiendo sus experiencias "fallidas", se dan cuenta que las experiencias se pueden clasificar en dos grandes grupos: los éxitos y los fracasos, es decir, las que crecieron y las que no. Así llegan a formar el "conjunto de los fracasos". Veamos a través de la siguiente viñeta cómo hacen referencia a ellos:

A4.- [Toma dos frascos y los pone al centro] Aquest és el meu intent. [hacen una clasificación: las que crecieron y las que no]

A2.- Com aquestes (...) també aquestes, com aquesta i com aquesta [se dirige a A1]) y luego están nuestros fracasos.

A1.- [ríe] Sí.

(Líneas 8-12, Unidad 7, Equipo 1).

Posteriormente conforme van avanzado en las discusiones sobre sus resultados, se detienen y dedican un espacio específico para analizar, estudiar y comentar: "qué tienen de diferente los fracasos". Veamos cómo inicia esta discusión:

A2.- A ver ahora comparem amb els fracassos, qué tienen de diferente?

A5.- Pues, yo creo que tienen demasiada agua.

A3.- Demasiada agua.

A2.- Pero se la he puesto ahora el agua.

(Líneas 1-5, Unidad 11, Equipo 1).

Uno de los momentos más enriquecedores de este análisis del fracaso, consistió en la identificación de otro de los factores esenciales de crecimiento: el aire. Lo cual a su vez permitió que abordaran el proceso de respiración. La identificación de estos dos elementos surge a través del análisis detallado de las condiciones en que se había desarrollado una de las experiencias, en la cual las semillas se encontraban en un frasco completamente tapado, por tanto los estudiantes formulan hipótesis con relación a la necesidad de aire. A continuación presentamos el desarrollo de esta discusión:

A5.- [Pregunta a A1 y A2] Pero siempre han estado así, con esas tapas...?

A1.- No. Yo en este bote las he tenido los últimos días.

A2.- Bueno así, pero yo no lo voy abrir. Han estado tapadas pero al revés.

A4.- Com vols dir al revés?

A2.- O sigui amb aquest cul a sobre i sense fer pressió ni res.

A5.- Yo las he tapado pero con un papel.

A4.- Clar però és que un paper és transpirable. Però en canvi si ho tapes

completament (...)

A2.- Tienen que tener algo de aire?

A4.- Clar, això segur.

A5.- Han de transpirar.

A1.- Pues ya está.

A2.- [escribe en el papel] Aire.

A4.- Vaig a preguntar als altres equips què han fet. [se levanta y se retira del equipo].

A2.- Toma llévate un papel y apuntas. [Toma un recipiente] Mira esta está muy fea.

A1.- Sí pero ha creci (...) pero ha germinado.

(Líneas 16-35, Unidad 11, Equipo 1).

El aire representa uno de los factores poco identificados por los equipos, (incluso el Equipo 2 no lo llegó a identificar), y en este caso su necesidad es identificada a partir del análisis de las experiencias que fallaron. Por tanto esta situación pone en evidencia que si este equipo sólo hubiera analizado sus éxitos habría desperdiciado oportunidades de aprendizaje como esta.

En este tipo de situaciones el análisis de los errores se convirtió en un elemento fundamental para construir nuevos significados y enriquecer el modelo explicativo. Por tanto esto permite cambiar radicalmente la visión "despectiva" que normalmente tienen los estudiantes sobre los errores o los fracasos. Identificamos como una de las integrantes el Equipo 1 piensa que al haber fracasado en el intento de hacer germinar las semillas, no tienen nada que aportar a sus compañeros: "Yo no tengo nada que aportar porque (...) hum", (línea 10, Unidad 3, Equipo 1). Sin embargo, cuando este mismo equipo se dedica a estudiar los casos fallidos, transforman a través de sus acciones esta visión negativa sobre los errores. Los fracasos de los estudiantes resultaron indispensables incluso para validar las experiencias exitosas; les permitieron además distinguir entre elementos de esencial importancia y los secundarios. Asimismo los errores brindaron la oportunidad para formular nuevas preguntas, plantear hipótesis y abrir nuevas rutas para la indagación.

Desvanecer los errores: una desventaja para la modelización

Por otra parte, cuando la tendencia es a desvanecer los errores o a esquivar el análisis más detallado sobre los efectos de la cantidad de cada uno de los factores (agua, luz, soporte,...) sobre los resultados finales, los avances en la comprensión del fenómeno resultan limitados. Para el caso del Equipo 2, a pesar de que también identifican que algunas semillas llegaron podridas, este hecho no cobra la fuerza necesaria como para centrar su atención en el análisis de las condiciones que lo ocasionaron:

A4.- Mireya´s beans are the biggest ones, y la Silvia... [se ríe].

A2.- Y las de la Silvia están empezando (...) no se, apenas asoman la cabeza.

A4.- Las de Eduardo están () las de la Silvia tienen como pequeñas redes.

A5.- Pero no están podridas.

[toman los distintos recipientes, los observan y van comentando hablan al mismo tiempo y no se escucha bien lo que dicen] ()

A3.- Les seves? las tuyas están creciendo, eh! [observa uno de los botes]. Porque de las más hay una que también me llegó podrida, mira se me quedó enganchada en el algodón [mete la mano al frasco y saca la semilla] La voy a plantar ¿Qué más?

A5.- És tot no? això.

A3.- [toma los pedazos de papel que se les entregaron para escribir los factores esenciales de crecimiento] Això s'ha de posar aquí, no?
(Líneas 23-37, Unidad 3, Equipo 2).

En la viñeta anterior vemos como a pesar de que identifican que algunas semillas están podridas no muestran su interés en indagar qué a sucedido. Conforme van comentando las experiencias, aparece una tendencia por parte de una de las estudiantes a desvanecer la idea de que la variación en la cantidad o la presencia de alguno de los factores puede ocasionar el "no crecimiento" y tiende a generalizar que las semillas crecen de todas formas: "Que no afectan si crece o no pero si la manera en cómo crecen" (línea 22, Unidad 7, Equipo 2); no obstante una de sus compañeras le cuestiona sobre el papel del factor agua: "A ver sino le pones agua ¿qué pasa?" (línea 29, Unidad 7, Equipo 2) y aunque trata de esquivar la pregunta, esta pequeña interacción les permite confirmar la necesidad indispensable del agua para la germinación y el crecimiento. El siguiente diálogo ilustra cómo a pesar de que no profundizan demasiado en el análisis de cada uno de los factores y aunque (a diferencia del Equipo 1) no es su objetivo analizar los fracasos, este abordaje superficial de las semillas que llegaron podridas les permite: a) ratificar que el agua es un factor esencial y b) suponer que la variación en la cantidad de otro tipo de factores sólo afecta la *manera* en que crecen.

A4.- Yo creo que eso.

A5.- (observa la hoja de A4 y lee lo que ha escrito) Essential factors do not affect if the plant grows or not but they affect the manner they grow.

A4.- Que no afectan si crece o no pero si la manera en cómo crecen.

A5.- Pero puede no crecer.

A4.- (Toma los recipientes) Pero por ejemplo ahora tenemos una con luz y una sin luz y las dos han crecido.

A3.- Pero no en todos pasa igual, sino le pones agua no crece res.

A4.- (levanta los hombros)

A3.- A ver sino le pones agua ¿qué pasa?

A2.- Sí pero es como eso, la Mireya las tenía tapadas y tú no, pero a las dos también han crecido.

A5.- Yo las había tapado antes y mira (señala que no le han crecido) Después les puse un poco de agua y se me pasó la mano, (se ríe)

A3.- Però tu sí que les has posat a l' interior però les has regat, tenien humitat.

A4.- Sí però es la quantitat, si que els factors essencials, la llum existeix hi es o no hi es, hi ha llum o no hi ha llum.

A2.- I també segur dependent del factor essencial, també hem posat que toquin el vidre (señala los recipientes con el algodón)°°°

A3.- Els han posat aigua, Han posat aigua?

A2.- No, en cotó y asserí, però cotó bastant humit.

A3.- Pues és això, que sense aigua no creixen...

(Líneas 19-42, Unidad 7, Equipo 2).

Cabe señalar que a pesar de que hacen referencia a situaciones en las que se utilizaron frascos los cuales permanecieron tapados o destapados, no mencionan la presencia del aire y mucho menos su influencia.

Los fracasos y los éxitos: su influencia en los roles asumidos por los estudiantes

Algo que nos llamó la atención es que para el caso del Equipo 1 la división de experiencias en éxitos y fracasos, implicó por momentos, el establecimiento de distintos roles para los estudiantes: por un lado a los que habían triunfado en la tarea de hacer crecer las semillas de la mejor manera, se les concedió el rol de

expertos, de jueces, de poseedores del saber; mientras que los que habían fracasado en el intento y llegaron con las semillas podridas jugaron el rol de aprendices, pero de aprendices que cuestionan, indagan y quieren conocer. Reconocemos que el hecho de que algunos estudiantes no lograron tener éxito en la experiencia fue fundamental para la búsqueda de explicaciones más puntuales. Presentaremos una síntesis de momentos que ilustran esta situación a través de la Tabla 1. En la cual hemos colocado en la columna de la izquierda a las dos estudiantes que no tuvieron éxito para hacer germinar las semillas (A1 y A2). Por otro lado en la columna derecha incluimos los tres estudiantes que sí tuvieron éxito (A3, A4 y A5).

Primero para cada grupo aparece un apartado de opiniones donde cada estudiante da cuenta de sus resultados. Después en el segundo apartado se observa cómo A1 y A2 hacen preguntas o piden información y A3, A4 y A5, responden. Aquí la lectura tiene que realizarse de manera horizontal alternada de izquierda a derecha, iniciando por la columna izquierda, es decir, de las preguntas a las respuestas. Finalmente, en el tercer apartado ejemplificamos como el registro de datos que realizan A1 y A2 es sobre la información proporcionada por los compañeros que también tuvieron éxito (A3, A4 y A5). En síntesis, los estudiantes que tuvieron éxito son quienes poseen la información que se registra como válida. La lectura de este tercer apartado también es horizontal alternada de izquierda a derecha.

Estudiantes con experiencias de fracaso (A1, A2)	Estudiantes con experiencias de éxito (A3, A4, A5)
<p>Dan cuenta que no tuvieron éxito: A1.- Yo no tengo nada que aportar porque (...) hum. (línea 29, Unidad 7, Equipo 2). Yo hice, algodón, algodón, algodón y mongetas arriba. Y desastre total eh. Desastre! (Líneas 29-30, Unidad 5, Equipo 1).</p> <p>A2.- I keep someone for my (...) some seeds for me, because I want to plant them... because these are "fallido". (Líneas 1-4, Unidad 5, Equipo 1).</p>	<p>Dan cuenta del éxito: A5.- No, perquè les meves han estat tancades, les vaig a tapar i les vaig a ficar dintre un armari (...) i en dos dies, les vaig destapar i estaven ja sortint per aquí. (Líneas 3-5, Unidad 3, Equipo 1).</p> <p>A3.- In (...) Mira en terra també crecen. Puse dos dies aigua, aigua sol i després les vaig posar terra. (Líneas 9 y 15, Unidad 5, Equipo 1).</p> <p>A4.- Aquestes quatre [las señala sus semillas germinadas] (Línea 6, Unidad 8, Equipo 1).</p>
<p>Preguntan o piden opiniones: A2.- Pero cómo se te ha ocurrido echarle serrín? (Línea 3, Unidad 2, Equipo 1).</p> <p>A1.- [le pregunta a A5] Però tu les teves mongetes les vas ficar per sobre o a dintre? (Líneas 23-24, Unidad 5, Equipo 1).</p> <p>A2.- Aviam Joan que vull mirar aquestes. (Línea 4, Unidad 6, Equipo 1).</p> <p>A2.- [luego de remover su frasco se lo pasa a A5] Mira, Mireya pero míralas</p>	<p>Responden y opinan: A3.- Porque en serrín també crece (Línea 4, Unidad 2, Equipo 1).</p> <p>A5.- Al mig (...) (Línea 25, Unidad 5, Equipo 1).</p> <p>A4.- Sembla que vulguin créixer, però en cara li falta. (Línea 5, Unidad 6, Equipo 1).</p> <p>A5.- Es que están muy cerradas aún. Quizá en unos días. (Línea 32, Unidad 6, Equipo 1).</p>

<p>por fa, tápate pero míralas a ver si crees que van a crecer. (Líneas 30-31, Unidad 6, Equipo 1).</p> <p>A1.- [pregunta por las otras dos, se dirige a A3] Y estás cuántos días las has tenido así? (Líneas 26-27, Unidad 7, Equipo 1).</p> <p>A2.- ¿Sólo con agua? (Línea 32, Unidad 7, Equipo 1).</p>	<p>A3.- Estuvieron dos días (...) no (...) de viernes a viernes con agua, sólo. (Líneas 28-29, Unidad 7, Equipo 1).</p> <p>A5.- Claro, si quieres que germinen las metes en agua (...) para que se ablanden. (Líneas 34-35, Unidad 7, Equipo 1).</p>
<p>Registran información: A2.- Vamos a apuntar en un papel espérate! (Línea 12, Unidad 8, Equipo 1).</p> <p>A1 y A2.- Agua, llum (...) A2.- Haber que más has dicho? (Líneas 25-26, Unidad 8, Equipo 1).</p> <p>A2.- Agua, aire lliure, llum (...) A1.- Terra. A2.- Terra, terra es serrín. (Líneas 28-30, Unidad 8, Equipo 1).</p> <p>A2.- Cotó, fosc o (...)? (Línea 35, Unidad 8, Equipo 1). A2.- Agua (...) molta? (Línea 40, Unidad 8, Equipo 1).</p>	<p>Proporcionan información: A4.- Osigui, el cotó i l' aigua en totes vaig fer el mateix (...) no molt cotó i anar-les mullant amb aigua (...) però no empapades en aigua, poqueta aigua. (Línea 15-17, Unidad 8, Equipo 1).</p> <p>A5.- És que jo en principi vaig ficar aigua a totes(...) i porta dos o tres dies igual. (Línea 18-19, Unidad 8, Equipo 1). A3.- Aire libre. (Línea 27, Unidad 8, Equipo 1).</p> <p>A4.- Cotó. (Línea 34, Unidad 8, Equipo 1).</p> <p>A4.-No (...) poqueta aigua (...) poca aigua. (Línea 41, Unidad 8, Equipo 1).</p>

Tabla 1. Roles asumidos por los estudiantes a partir de sus experiencias de éxito o fracaso en la germinación de las semillas.

No obstante que esta división no se mantuvo durante toda la interacción, sí ejemplifica ambos roles. Asimismo la forma en que se desarrolla resulta provechosa en el sentido que los estudiantes que "fracasaron" son los promotores en la búsqueda de explicaciones que permitan comprender los factores esenciales que intervienen en el fenómeno. Esta supuesta "desventaja", de las experiencias no exitosas representó el pivote de una serie de nuevas construcciones y a su vez se convirtió en la base sobre la que se establecen las condiciones necesarias para mejorar la comprensión.

Conclusiones

Con estos ejemplos pretendemos poner de manifiesto la importancia que tiene el estudio de los errores dentro de los procesos de modelización científica y en particular de la actividad experimental ya que nos lleva a la mejora del modelo explicativo a través de un manejo delicado de cada una de las variables, a una búsqueda constante de explicaciones y a su reformulación y refinamiento constante. De acuerdo con Arcá, *et al.* (1997), esta búsqueda de modos de hacer concordar los conocimientos teóricos y los datos concretos lleva a la elaboración de

una serie de ajustes intermedios del modelo convencional. Dichos ajuste resultan necesarios para poder imaginar según qué criterios, o mediante qué vínculos, el caso general (conocimiento) puede interpretar el caso particular (experiencia).

A su vez el abordar el error como objeto de discurso mejora los procesos de modelización si consideramos que las principales funciones de estos últimos son la exploración de regularidades, es decir, contribuyen a que se describan, expliquen y predigan los aspectos más representativos de las realidades físicas que son responsables del patrón en cuestión; y, por otro lado, ayudan a rectificar dichas regularidades a través del control o del cambio de realidades existentes, o a través del diseño y la invención de nuevas realidades (Halloun, 2007).

En síntesis, el estudio de los fracasos representó una oportunidad de aprendizaje para los estudiantes ya que les permitió avanzar en la construcción del modelo identificando elementos esenciales (como el aire) que en el análisis de las experiencias exitosas no habían aparecido y precisando el papel de otros factores. Asimismo, la influencia de los éxitos y los fracasos en la distinción de roles entre los participantes nos lleva a ratificar la ciencia como una actividad construida socialmente, mediada por las negociaciones, los consensos, los recursos disponibles y la construcción colectiva de explicaciones. (Roth, 1995; Crawford 2005; Tobin, 2006).

Bibliografía

- ADÚRIZ-BRAVO, A. & IZQUIERDO, M. (2005). Utilizing the 3P-model to Characterize the Discipline of Didactics of Science. *Science y Education*, 14, pp. 29-41.
- ARCÁ, M., GUIDONI, P., & MAZZOLI, P. (1990) *Enseñar Ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. México: Paidós Educador.
- CRAWFORD, T. (2005). What Counts as Knowing: Constructing a Communicative Repertoire for Student Demonstration of Knowledge in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), pp. 139-165.
- GIERE, R. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- HALLOUN, I. (2007). Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World: The Newtonian Concept of Force. *Science & Education*, 16, pp. 653-697.
- IZQUIERDO, M. & ADÚRIZ-BRAVO, A., (2001). *Contributions of the cognitive model of science to didactics of science*. 6th International History, Philosophy and Science Teaching Conference, Denver, USA.
- IZQUIERDO, M. & ALIBERAS, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències*. UAB: Colecció Materials 150.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N., y ESPINET, M. (1999). "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- MAMMINO, L. (2002). Empleo de análisis de errores para aclarar conceptos de química general. *Enseñanza de las ciencias*. 20 (1), 167-173
- ROTH, W. M. (1995). *Authentic School Science: Knowing and Learning in Open-Inquiry Science Laboratories*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- SENSEVY, G.; TIBERGHIE, A; SANTINI, J.; LAUBÉ, S. & GRIGGS, P. (2008). An Epistemological Approach to Modeling: Cases Studies and Implications for Science Teaching. *Science Education*, 92 (3) pp. 424-446.
- TOBIN, K. (2006). Aligning the cultures of teaching and learning science in urban high schools. *Cultural Studies of Science Education*, 1(2), pp. 219-252.
- TOBIN, K. (2006). Aligning the cultures of teaching and learning science in urban high schools. *Cultural Studies of Science Education*, 1(2), pp. 219-252.