

Aprender ciencias de un modo experimental

Learning Science in an Experimental Manner

Prof. José Manuel Carmo. Profesor Coordinador. Escuela Superior de Educación y Comunicación. Universidad de Algarve. Faro, Portugal. Correo electrónico: jmbcarmo@gmail.com

Recibido mayo de 2014 Aceptado noviembre de 2014

RESUMEN. Las ciencias son un componente relativamente reciente, pero cada vez más importante de la cultura básica de un ciudadano. En el aprendizaje básico de las ciencias que todos deben adquirir, los contenidos han tenido un lugar predominante; todavía el modo de pensar científico debería ser una preocupación de creciente importancia en las intenciones educativas de los educadores de ciencias. Hacer experiencias está asociado fuertemente a la clase de ciencias, pero se puede entender de modo muy diverso. Hacer experiencias puede servir como utensilio, formando parte de la metodología para facilitar el aprendizaje de contenidos, pero también la ejecución por los alumnos de procedimientos experimentales deberá servir al desarrollo de las capacidades del pensamiento científico, constituyendo un contenido propio del aprendizaje. La actividad científica es un modo de pensar y resolver problemas y, en la actualidad, se propone que la ciencia escolar sea una enseñanza por investigación y busque promover el desarrollo de competencias de pensamiento y acción típicas de la ciencia.

PALABRAS CLAVE: enseñanza experimental, educación en ciencia, metodología investigativa, ciencia escolar.

ABSTRACT. All science is a relatively new component, but each day it becomes a more important part of the basic culture of a citizen. In the basic learning of science, that all should learn, the knowledge of content has had a predominant role; still the manner of scientific thinking should be a concern of increasing importance in the educative purposes of the science teachers. Experience should be strongly associated with science classes, but this can be understood in diverse manners. Experience should be a tool that is incorporated to the methodology to facilitate content teaching, but also the execution by students of experiments and the procedures should aid in the development of students capacities towards the scientific thought process, constituting content within the learning. Scientific activity is a way of thinking and resolving problems, and in today's world, this work proposes that the subject of science in schools be done through research and that it finds a manner to development competences in the thought process proper of science itself.

KEY WORDS: experimental teaching, science in education, research methodology, school science.

Introducción

Hoy, en un mundo en que la ciencia y sus aplicaciones tienen una importancia fundamental en la sociedad, es necesario que una persona educada posea la comprensión básica en ciencia y tecnología, para lidiar con la complejidad científica de la vida cotidiana, para participar de modo informado en materia de ciencias en las decisiones que tome en cada momento y actuar de modo eficaz como ciudadano. Pero, en esencia, se comprende hoy que la ciencia es tanto contenido cuanto proceso y actitud. Aprender ciencia es aprender un modo de pensar y actuar en contexto.

La educación en ciencia, en la escuela o fuera de ella, se reelabora para responder a estos retos, cambiando el énfasis de los contenidos, como objetivo absoluto para la consideración de las

competencias prácticas de acción como contenido y el entrenamiento de procesos de pensamiento típicos de las ciencias, entre otras preocupaciones como el aprendizaje de ciencias como contenido social. La enseñanza de las ciencias se vuelve, cada vez más, una ciencia experimental y práctica.

En este artículo se procura clarificar el sentido de hacer actividades prácticas de tipo científico y de tipo experimental en relación con el contenido del conocimiento científico: conocimiento sustantivo y conocimiento metodológico.

Desarrollo

Como refiere Driver R,⁽¹⁾ la enseñanza de las ciencias debería contribuir a mejorar la comprensión social de los individuos sobre asuntos relacionados con las ciencias y formar ciudadanos informados científica y tecnológicamente. Valente M O⁽²⁾ indica tres perspectivas a considerar en la enseñanza de las ciencias: enseñar ciencias como el cuerpo organizado de conocimientos que ayuda a comprender el mundo natural; enseñar ciencias como un conjunto de procesos investigativos para estructurar el pensamiento; y enseñar ciencias como una actividad humana ligada a la resolución de problemas de la sociedad. El autor, en otro trabajo,⁽³⁾ defendió que una enseñanza equilibrada de las ciencias tendrá que responder a las necesidades de desarrollo de la ciencia, del individuo y de la sociedad. Efectivamente, en la actualidad no se cuestiona la necesidad de una educación en ciencias que garantice este importante componente en el "equipaje cultural" de la educación de los ciudadanos,⁽⁴⁾ pero en este "equipaje", mientras ganan importancia los procesos de acción y pensamiento de la ciencia como parte de la cultura, la escuela tiene dificultad en abandonar el viejo paradigma de la cultura en ciencia como un programa de contenidos, en una concepción superada de la propia ciencia.

Diversos estudios, como el de Miguéns M,⁽⁵⁾ en Portugal, indican que los profesores consideran muy importante la introducción de actividades prácticas en la enseñanza de las ciencias, pero consideran muy difícil su concretización. Las actividades que refieren son esencialmente demostraciones y la función que les atribuyen es de motivación para el aprendizaje y como facilitador de la comprensión del contenido.

En la capacidad para entender el entorno que busca esta cultura básica en ciencias, los conocimientos, la información científica, siempre tuvieron una función dominante: conocer hechos, conceptos, principios y teorías. Este conocimiento, enseñado y aprendido según la lógica de la estructura de las diferentes ciencias, corresponde a la creencia de que de él resulta una sólida cultura científica. Ello contribuye a entender mejor el entorno y el mundo. Otro punto de vista asocia la cultura científica a la capacidad para explicar los fenómenos: ¿cómo funciona la olla de presión?, ¿por qué es azul el cielo? Es evidente que, para eso, también es necesario evocar hechos, principios. Al final, se procura el conocimiento que constituye la estructura conceptual de las disciplinas de las ciencias, pero consideradas en relación con un contexto dado. Algunos lo refieren como un conocimiento científico popular. Eventualmente se está frente a una visión académica y una visión práctica de la cultura científica.

En una visión de la ciencia interpretativa del medio, o en una visión del medio como ilustrativo de la ciencia, los resultados terminan siendo los mismos en relación con la importancia de las adquisiciones de contenido. Para ambas perspectivas, aprender ciencias es, en esencia, aprender el contenido de las ciencias. La diferencia se ubica más en la concepción sobre el proceso de aprender y en relación con el concepto de ciencia para todos, que en la naturaleza de lo que hay

que aprender. Aprender ciencia por la exploración y el análisis de los fenómenos del entorno, es más motivador, al proporcionar un contexto concreto que puede ser manipulable y permite, por extensión a otras situaciones, proceder a la generalización de los aprendizajes.

El desarrollo de la psicología del aprendizaje ha introducido cambios en las técnicas de enseñanza: la influencia de los conocimientos anteriores de los alumnos, el carácter generativo del aprendizaje de conceptos; el conocimiento de los procesos de pensamiento y de los estadios de desarrollo cognitivo, entre otros aspectos, determinan metodologías de enseñanza, dando mayor relevancia a la actividad cognitiva de los alumnos y recurriendo a actividades experimentales y manipulativas. Se procura el desarrollo de nuevos modos de enseñar los contenidos, más compatibles con los avances del conocimiento sobre la naturaleza del proceso de aprender. Esto es, se aprende más y mejor de lo mismo: los contenidos de la ciencia.

El profesor se propone explicar que el agua de la lluvia se infiltra en la tierra hasta que, al encontrar una capa impermeable, quede retenida, formando un acuífero.

Para tornar más clara esta información, puede construirse un modelo: un recipiente plástico con capas sucesivas de varios tipos de suelo y una de ellas, más o menos en el medio, fuertemente impermeable. El agua, de pronto, desaparece sobre la capa superficial. Por un agujero en el recipiente, al nivel de la capa más profunda, no sale agua. Pero, sale agua por un agujero hecho justo arriba de la capa del suelo muy impermeable.

Incluso, en el caso en que los alumnos sean incentivados a participar en el montaje del sistema, este procedimiento no tendría otra función que la de dar expresión concreta y visible a un aprendizaje de contenido. La "experiencia" hecha solo tendría la función de metodología de enseñanza facilitadora del aprendizaje. Una técnica para demostrar un aprendizaje que, así, se volvería más evidente a los ojos de los alumnos. Este tipo de actividades de demostración e ilustración no pueden ser consideradas como actividades prácticas.

Una variedad de autores proponen clasificaciones más o menos coincidentes,^(6,7) para los diferentes tipos de actividades prácticas pero, por adecuada, se adopta la siguiente:

- *Actividades de exploración y observación simple.* Contacto directo y concreto de los alumnos con los fenómenos sin una pauta de observación, favoreciendo la observación impresionista, el despertar de curiosidades e intereses, y la manifestación de saberes.
- *Actividades de observación y medición.* Realizadas según una pauta concreta, con recurso a instrumentación y según procedimientos predefinidos.
- *Actividades de confirmación-verificación.* Los alumnos verifican, siguiendo procedimientos predefinidos, que determinado hecho, principio o fenómeno ocurre como fue previsto en la teoría del profesor.
- *Descubrimiento.* Los alumnos realizan una actividad práctica definida, cuyos resultados permiten inferir el conocimiento pretendido.
- *Actividades de investigación.* Los alumnos son confrontados con nuevas situaciones o problemas para los cuales buscan soluciones que evalúan por la experimentación.
- *Actividades de modelaje.* Los alumnos construyen un modelo que representa el fenómeno en estudio.

En otra situación, un balón en la embocadura de una botella calentada intensamente con las manos, empieza a hincharse lentamente. El espanto, la perplejidad, permiten que los alumnos se cuestionen sobre lo que pasa y por qué.

Por un lado, está el despertar de la curiosidad ante un fenómeno inusitado, esto es, ante un fenómeno para lo cual no se encuentra, de inmediato, respuesta dentro de lo que ya se conoce. Por otro lado, es un soporte concreto para la manipulación experimental de ensayos de respuestas. Al enfriarse, ¿vuelve al estado inicial? Acontecimientos discrepantes, como el referido, están en lo esencial, basados en el hecho de que el conocimiento anterior, más o menos intuitivo, que los alumnos ya poseen sobre el contenido, no les permite explicar lo ocurrido, o los empuja a prever una consecuencia distinta de la que efectivamente se verifica. Así, conflicto cognitivo y aprendizaje se suceden. Y, además, si después se cuestiona: ¿qué pasará si la botella se pone en un cubo con hielo? En una dialéctica de asimilación-acomodación, en el lenguaje piagetiano, los alumnos adaptan, equilibran su pensamiento a una lógica de conocimiento que tenga sentido en relación con el fenómeno. No haciendo diferencia en lo esencial de una demostración, su propósito fundamental es crear un clima psicológico favorable a una adquisición de contenidos. La "experiencia" es aún, y solo, metodología motivacional.

Al suponer que se propone a los alumnos la verificación de los puntos de fusión y ebullición del agua y, para eso, se les propone un procedimiento que deberán seguir.

El rigor y la calidad del trabajo ejecutado determinarán que los resultados coincidan con las expectativas de la teoría. Hasta cierto punto, como en una demostración, el procedimiento propuesto tiene el valor de una concreción del contenido a aprender. Pero hay, además, otros aprendizajes relacionados directamente con el procedimiento experimental: el rigor en el modo de proceder, la lectura de temperaturas, el registro de datos en tablas y la construcción de un gráfico, la organización del trabajo, entre otros. Estos aprendizajes de proceso son aquí también adquisiciones que se pretende que los alumnos obtengan y que valen, por sí mismas, tanto como saber el punto de fusión o de ebullición. En verdad, para aprender el punto de fusión o de ebullición, no se justificaría involucrar a los alumnos en un procedimiento que llevaría, por lo menos, toda una hora de clase, si no fuera porque se pretende esencialmente que, al aprender un determinado saber, se obtenga en paralelo otro tipo de aprendizaje que refleja un aspecto del método de trabajo propio de la ciencia: un estilo y competencias específicas del trabajo científico. Y, más aún, la contribución de las ciencias al desarrollo de aprendizajes transversales, como el espíritu de iniciativa, la perseverancia, la creatividad, la auto-organización, la autoconfianza, la autonomía, la responsabilidad, la motivación y la capacidad para trabajar en grupo, como otros, comunicarse, planear, actuar y autoevaluar el propio trabajo y el de los demás.⁽⁸⁾

Hacer experiencias no es, por consiguiente, solo una metodología para un aprendizaje de contenidos más eficiente. La actividad de tipo experimental es ya, en sí misma, un fin para obtener aprendizajes que le son específicos: las competencias de acción del método de la ciencia. Los procedimientos implicados en la experiencia ya no son únicamente el medio para que se adquirieran los contenidos, sino que son ellos mismos el mensaje.

La ciencia no es solo un conjunto organizado de conocimientos de contenidos que constituyen la base científica de los fenómenos que nos rodean. La ciencia también está compuesta por procedimientos de pensamiento operativo y racional. Aprender a medir longitudes o tiempos, leer temperaturas, comunicar por tablas o gráficos, transferir líquidos y gases, lidiar con cantidades

muy pequeñas, usar equipamientos o, simplemente, cortar o atar, son competencias operativas de acción que son necesarias en la perspectiva de la formación básica del individuo y que integran la actividad científica. Se podría enumerar un conjunto, más o menos, vasto de competencias de este tipo para un determinado nivel de enseñanza y, en coherencia, sugerir un conjunto de actividades de tipo experimental que les permitiesen concretar. Así mismo, al analizar la actuación de los alumnos, se debe valorar si saben medir, usar los materiales o registrar observaciones en una tabla, del mismo modo que se le exige el conocimiento de cualquier contenido curricular.

Más allá de las competencias operativas o de acción, hay aún otro tipo de capacidades de pensamiento científico básico que constituye una importante contribución para el desarrollo cognoscitivo de los alumnos. La ciencia es, también, un modo de pensar racionalmente.

Los alumnos tienen ideas sobre las cosas y es importante que, al recibir algo para aprender, lo puedan relacionar con lo que ya sepan con anterioridad sobre el asunto y cuestionar su conocimiento.

En las edades a que corresponden los 5º y 6º años de escolaridad, muchos alumnos esperan que, al añadir un cierto volumen de azúcar a una determinada cantidad de agua, esta, al "derretirse", como se refieren al "disolverse", no provoque un aumento del volumen final. En términos formales, se puede decir que aún no poseen el concepto de conservación de las cantidades. Otros, todavía razonando con esta lógica, esperarían que el volumen final fuera igual a la adición de los dos volúmenes. En los dos casos, tendrán mucho que pensar para conceptualizar un modelo solo comprensible si desarrollan el concepto de "pequeñas partículas" y de espacios entre ellas. Esta actividad permite constatar que la explicación derivada de la teoría de los alumnos no satisface, haciendo posible y deseable su sustitución por la teoría del profesor. En resumen, estas actividades y procedimientos de tipo práctico y experimental buscan mejorar la calidad del aprendizaje de los contenidos por la actividad cognitiva de los alumnos. Aprender por la actividad práctica los contenidos de la ciencia ya no es aquí solo concretización y motivación. El alumno desarrolla una conceptualización derivada de sus observaciones en que la teoría del profesor ya tiene sentido. Por medio de "experiencias" puede hacerse más evidente un aprendizaje deseado: "descubrir" el conocimiento de un modo experimentalmente vivo.

De una "cacería" durante el fin de semana, los alumnos traen a la clase un lote razonable de pequeños "animales". Después de observar su constitución, centrada en algunos aspectos particulares, como las partes en que el cuerpo está constituido, el número de patas o si tienen alas, los alumnos podrán ser desafiados a formar grupos y explicitar los criterios utilizados en su organización. Con la ayuda del profesor, un sistema simple de clasificación podrá ser establecido. En presencia de un nuevo "animal" los alumnos intentarán clasificarlo en el grupo correcto de acuerdo con las propiedades observadas. Tiene tres pares de patas: ¡es un insecto! Observar, comparar, agrupar y clasificar son procesos simples de pensamiento, típicos de la ciencia.

¿Qué factores influyen la germinación de una semilla? ¿Qué hipótesis se pueden formular? ¿Qué previsiones se harán? En una clase podrán ser delineadas experiencias para comprobar por lo menos diez diferentes variables, lo que hará posible aprender aspectos como la identificación y el control de variables. Aprender ciencia, los contenidos y también los procesos de pensamiento, típicos de la ciencia. Efectivamente, es a esto a lo que con propiedad se llama "experiencias": la aplicación del método experimental.

Cierto es que aprender ciencias también es aprender a pensar científicamente y no parece cuestionable que poseer una cultura científica básica no tenga también que incluir un modo de pensar científico paralelamente al conocimiento de contenidos.

Hay una asociación entre hacer experiencias, entre el involucrar a los alumnos en el proceso de manipulación de materiales y entre la ejecución de procedimientos de tipo experimental y la enseñanza de las ciencias. Mejor aún, con más propiedad se debería asociar el aprendizaje de las ciencias con una enseñanza que privilegie el aprendizaje de la ciencia como un método de raciocinio y con procesos específicos de pensamiento para generar conocimiento. Hacer experiencias con los alumnos es obligatoriamente un medio para lograr este tipo de aprendizaje. Su justificación reside, sobre todo, en los procesos de pensamiento que desencadenan en los alumnos y que les permite desarrollarlo. Hacer una experiencia no es un fin en sí mismo, pero sí un medio para obtener un aprendizaje de contenido y de proceso. En la enseñanza de un contenido es normal seguir un cierto ciclo que se inicia con la percepción de las dificultades de los alumnos en la comprensión del concepto; en el desarrollo de una metodología que garantice la enseñanza formal del concepto en ese período etario y, finalmente, en la utilización del concepto en nuevas y diversificadas situaciones, facilitando su integración conceptual. Al intentar promover una enseñanza por la investigación, el método de la ciencia, no se podrá evitar seguir una metodología semejante. ¿Cómo llevar un helado de *Coppelia* hasta el municipio de Playa en el ómnibus? Es necesario decidir qué materiales involucrar para que llegue en condiciones. O, ¿cómo mantener mi café caliente más tiempo? Hay que precisar con claridad el problema; identificar las variables que intervienen; definir criterios de calidad; delinear procedimientos experimentales, controlar adecuadamente las variables; comparar los resultados y tomar decisiones en función de los criterios previamente determinados. De un modo simple se ha utilizado un método, -el método de la ciencia- para conocer y esto es aprender a pensar científicamente.

En verdad, se tendrá que fomentar una enseñanza experimental de las ciencias para ayudar a los alumnos a desarrollar un estilo de pensamiento experimental como parte de su equipaje cognitivo. "El método de la ciencia -resolución de problemas por el pensamiento reflexivo- deberá ser, tanto el método, como el resultado deseado de la enseñanza de las ciencias en las escuelas americanas".⁽⁹⁾ Esta afirmación de Dewey J, un consagrado educador de la ciencia, escrita hace casi cien años y publicada en el primer número de la revista *Science Education*, con otro nombre entonces, es sintomática de la importancia para los educadores de que la enseñanza de la ciencia sea una educación científica; que sea, sobre todo, una contribución para el desarrollo de un modo de pensar científico. Y esto en los diferentes niveles de enseñanza, de primaria hacia arriba. Las competencias de una buena educación en ciencia en los grados 10 a 12, implican que el aprendizaje de ciencias haya sido bueno en los grados iniciales,^(10,11) esto es que en los diferentes niveles se presente la ciencia como experimental, basada en la resolución de problemas.

El trabajo experimental es un componente necesario de la educación de la ciencia, por su especificidad: su importancia como estructurador/organizador de una estrategia constructivista, esto es, que permitirá al alumno ser el constructor de sus conocimientos,^(12,13) el desarrollo de procesos complejos de raciocinio científico, el desarrollo de competencias manipulativas y de organización del trabajo. Pero, sobre todo, facilitará al alumno su función como emprendedor: reconocer un problema, diseñar y emprender un camino hacia su clarificación.⁽⁸⁾

No es difícil suscitar en los alumnos, incluso los más pequeños, la capacidad para resolver problemas. Para la resolución de un problema, se exige la aplicación de un conocimiento a una situación por la cual no se prevé, de entrada, que el conocimiento sea pertinente. ¿Por qué tenemos la sensación que el cuerpo flota mejor en el agua del mar que en el agua de la piscina? ¿Será verdad o mera ilusión? ¿Qué hay en el agua del mar que no hay en el agua de la piscina? Experimentar la flotación de cuerpos en agua bien salada y en el agua del grifo, decidir lo que hay que medir y cómo y sacar conclusiones.

Es cierto que, para esto, se exigen aprendizajes de contenidos que el profesor, planteado el problema, podría haber enseñado directamente. Lo que se ha ganado, tratando situaciones problemáticas como metodología, es el aprendizaje por los alumnos de la capacidad para explicar, con sus propios medios, lo que no comprenden y resolver su conflicto.

Al desarrollarse, desde los años 60 del siglo pasado, la enseñanza de las ciencias se conceptualiza en la actualidad como de naturaleza experimental e investigativa. Porlán R y colaboradores^(14,15) definen, en relación con la enseñanza de las ciencias, el conocimiento escolar como un producto abierto y generado por un proceso complejo. Lo consideran como el fruto de un proceso de integración y reelaboración de conocimientos diversos; dentro de un programa abierto, definido de modo participativo; en torno a problemas significativos, por su interés para los alumnos y por su relevancia social y buscando la construcción de significados por medio de una metodología investigativa.

En otra formulación, Cachapuz A y colaboradores⁽¹⁶⁾ proponen, para la actualidad, una enseñanza por investigación. Una enseñanza basada en situaciones reales de complejidad conceptual y en problemas abiertos con interés para los alumnos, convocando a la interdisciplinaridad y a la flexibilidad curricular. En este modelo, el profesor desafía al debate sobre situaciones problemáticas, orienta la investigación y suscita la reflexión crítica. El alumno estudia, en grupo, situaciones complejas, aprende conceptos simples en contextos amplios, desarrolla concepciones holísticas, considerando diferentes puntos de vista.

Conclusiones

La exigencia conceptual de una enseñanza de las ciencias actual, basada en la actividad práctica de los alumnos para el cambio conceptual y en la investigación en la clase, impone un esfuerzo grande para la socialización de los futuros profesores con este tipo de trabajo y la creación de rutinas de acción en ambientes reales y formativos. La adopción, por las escuelas, de este tipo de prácticas tiene tal grado de exigencias, que no parece posible continuar pidiendo todo al profesor y a la organización escolar: expertos en enseñanza y desarrollo curricular y aún, técnicos sociales. La introducción de una enseñanza de las ciencias de tipo práctico y experimental, hace necesario programas de apoyo para el desarrollo curricular, producción de materiales y experimentación en la clase, como una colaboración o asociación entre escuelas, centros de investigación en educación y formación, instituciones de investigación en ciencia y tecnología, y empresas o unidades de producción, así como de las estructuras locales de gestión y administración.

Las instituciones de formación del profesorado y los centros de investigación pedagógica tienen el difícil reto de promover la praxis del cambio. Formar y entrenar a los futuros profesores para una nueva práctica, desarrollar la articulación curricular, producir los materiales que hagan posible una enseñanza deseable y promover el debate sobre la organización escolar que facilite la adopción del

cambio, pues él va a determinar nuevas funcionalidades y colaboraciones. Hay que producir una colección de propuestas de actividades adecuadas y modos de proceder. Hay que imaginar un pequeño centro de recursos con el apoyo de otras organizaciones de la comunidad en que se puedan encontrar disponibles los materiales necesarios. Hay que juntar gestores, profesores y científicos en torno a un proyecto.

Referencias

- ⁽¹⁾ DRIVER R, LEACH J, MILLAR R, SCOTT P. Young people's images of science. 1ª Ed. Buckingham, Philadelphia: Open University Press; 1996.
- ⁽²⁾ VALENTE M O. O ensino das ciências em Portugal. *Revista de Educação* 1996; Vol VI (1):103-132.
- ⁽³⁾ CARMO J M. As perspectivas da Ciência, do Indivíduo e da Sociedade no Ensino das Ciências da Natureza. Uma proposta de modelo de análise. In: Fernandes M, Gonçalves J A, Bolina M, Salvado T, Vitorino T (ed). O Particular e o Global no virar do Milénio. Cruzar Saberes em Educação. Actas do 5º Congresso Nacional da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação; Setembro de 2001; Faro. Faro: Edições Colibri/ Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação; 2002. pp.225-34.
- ⁽⁴⁾ SOLOMON J. Science education in Britain: influences during the last ten years. In: Gago J M (ed). O Futuro da cultura científica. The future of scientific culture. Lisboa: Portugal: Instituto de Prospectiva; 1994.
- ⁽⁵⁾ MIGUÉNS M. Practical activities in 10-12 school science: Teachers' views and practices. [Thesis in option to the Academic Title of Master in Sciences of Education]. Bristol, U.K: University of Bristol; 1990.
- ⁽⁶⁾ CAAMAÑO A. Los trabajos prácticos en ciencias. En: Jiménez M P, et al (ed). Enseñar ciencias. Barcelona, España: Editorial Graó; 2003. pp.95-118.
- ⁽⁷⁾ SANTOS M C. Trabalho experimental no ensino das ciências. Lisboa, Portugal: Instituto de Inovação Educacional; 2002.
- ⁽⁸⁾ OLIVEIRA M T. Trabalho experimental e formação de professores. In: Conselho Nacional de Educação (ed). Seminário Ensino Experimental e Construção de Saberes. Lisboa, Portugal: CNE-Conselho Nacional de Educação; 1999. pp.35-53.
- ⁽⁹⁾ DEWEY J. Method in science teaching. *General Science Quarterly* 1916; Vol 1 (1): 3-9.
- ⁽¹⁰⁾ MCKNIGHT B. Problem solving in elementary school science. In: Gabel D (ed). What Research Says to the Science Teacher. Vol 5 Problem solving. Connecticut (EUA): NSTA-National Science Teachers Association; 1989. pp.1-11.
- ⁽¹¹⁾ HELGESON S L. Problem solving in middle school science. In: Gabel D (ed). What Research Says to the Science Teacher. Vol 5 Problem solving. Connecticut (EUA): NSTA-National Science Teachers Association; 1989. pp.13-34.
- ⁽¹²⁾ GIL D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 1993; Vol 11(2): 197-212.

⁽¹³⁾ SÁ J G. Estratégias de desenvolvimento do pensamento científico em crianças do 1º ciclo do Ensino Básico. [Tese de Doutoramento]. Braga, Portugal: Universidade do Minho; 1996.

⁽¹⁴⁾ PORLAN R, RIVERO A, POZO R M. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias* 1998; Vol 16(2): 271-288.

⁽¹⁵⁾ PORLAN R, GARCIA A R, POZO R M. The conceptions of in-service and prospective primary school teachers about the teaching and learning of science. *Journal of Science Teacher Education* 2004; Vol 15(1): 39-62.

⁽¹⁶⁾ CACHAPUZ A, PRAIA J F, JORGE M. Ciência, educação em ciência e ensino das ciências. Coleção "Temas de investigação". Lisboa, Portugal: Ministério da Educação; 2002. pp. 21-58.