

Un reto en la fundamentación del conocimiento escolar. Propuesta de contextualización de los procesos y técnicas de la ciencia en la Educación Científica Básica

A. FORTEZA y J. LAHERA

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

El objeto de nuestro trabajo es presentar una contextualización escolar del conocimiento metodológico para el Currículo de la Educación Científica Básica. Los fundamentos del Modelo son básicamente cognitivos y metacognitivos, y los principales objetivos metodológicos, vertebrados coherentemente junto a condicionantes epistemológicos y «ecológicos», pensamos que pueden facilitar el desarrollo de una comprensión interiorizada y significativa de la empresa científica en el alumno, a la vez que orientar al profesor para una idónea evaluación, pauta de deseables aprendizajes. En la práctica se ha experimentado el Modelo fundamentado en dos vertientes: su aplicación en contextos de ESO, en un enfoque de investigación educativa, y la estructuración de una asignatura optativa desde la contextualización descrita y su impartición en el ámbito de las titulaciones de la Facultad de Educación.

ABSTRACT

The purpose of this report is to shape up a school pattern of methodological understanding in the basic levels of science education; the pattern foundations are on a cognitive view of Science, and the aims are coherently shaped through epistemological and «ecological» qualities and could provide pupils a development in the personal meaning of scientific enterprise and outcome to decide on assessments who are a guide line in suitable learning. The authors have been the possibility to apply the theoretical project on science educational research and similar on their work of developing science teachers.

Introducción

La aportación del Modelo Cognitivo de la Ciencia (Giere, 1988) nos ayuda al planteamiento del proceso de creación científica como resultado de un nuevo modelo de racionalidad, cuya base y condición sería *la interrelación coherente de objetivos, métodos y representaciones que lleven a resultados evaluables* —un modo de contemplar la empresa científica acorde con la experiencia metodológica experimental— y que desde nuestro punto de vista, puede facilitar en gran manera la «transposición didáctica» (Chevallard, 1985) de los Métodos o Procesos de la ciencia, considerados requisito para la colaboración del alumno en el complejo proceso del razonamiento científico (Glynn, S. M., *et al.*, 1991) en los deseables aprendizajes cuyo aspecto primordial es *la posibilidad de que profesores y alumnos puedan trabajar conjuntamente organizando, elaborando e interpretando el conocimiento*. En un enfoque constructivista del aprendizaje es posible asumir el paralelismo entre los procesos de aprendizaje de la ciencia y los procesos de creación científica, y puede contemplarse el conocimiento científico escolar en un enfoque epistemológico que «acepta la normatividad de algunos conocimientos como punto de partida para la comprensión del mundo, pero que impulsa también la creatividad en la elaboración de argumentos y aplicaciones para que los conocimientos normativos adquieran sentido y proporcionen autonomía» (Izquierdo, M., *et al.*, 1999).

Este nuevo enfoque nos lleva a un planteamiento que solamente desde un principio de relativa complejidad se puede llegar a cierta unidad y clarificación. En este empeño va dirigido nuestro trabajo, al intentar vertebrar coherentemente una propuesta en la Educación Científica Básica que implicaría el desarrollo de contenidos procedimentales de área como conocimiento prioritario conjuntamente con la necesidad de crear «contextos» en el aula en los cuales los alumnos puedan experimentar el proceso de construcción de modelos y conceptos científicos como respuesta a cuestiones problemáticas contextualizadas; todo ello contemplado en una «transposición de la empresa científica» desde un modelo holístico y significativo (Woolnough, B. E., 1991). Enfoque que consideramos factible paradójicamente en estos niveles de la enseñanza básica, la educación científica idónea para todos, porque para todos es deseable un acercamiento cognitivo, epistemológico y axiológico a la explicación científica, y serán las habilidades y métodos heurísticos de pensamiento los que podrán en su caso, junto a la autoconfianza y valores, capacitar «la adquisición de nuevos conocimientos, renovar conocimientos anteriores y tener el criterio para priorizar y seleccionar el conocimiento» (Sternberg, R. J., 1987), retos tan necesarios en los aprendizajes científicos posteriores. El complejo tema plan-

teado en la investigación didáctica de la función de la Ciencia Práctica en el Aula, en los niveles de bachillerato y universitarios, sigue abierto en una interesante línea de investigación a la cual nuestro Modelo para la enseñanza obligatoria pretende colaborar en su doble objetivo: una Educación Científica idónea para todos y, a su vez, fundamento facilitador para retos futuros en estudios voluntaria y específicamente elegidos (Halpern, D. F., 1992).

Planteamiento y contextualización de un modelo de iniciación metodológica

En los intentos de sistematizar las finalidades fundamentales en la dinámica de la metodología de la investigación científica, puede afirmarse que la importancia de la investigación se mide por los cambios que conlleva en nuestro cuerpo de conocimientos y/o por los nuevos problemas que suscita (Bunge, M., 1989), y desde la psicología cognitiva se ha contemplado que «la indagación en el ámbito de la hipótesis está doblemente guiada por el conocimiento previo y los resultados experimentales, y la indagación en el ámbito de la experimentación está guiada por el tipo de hipótesis que se está investigando y los resultados de experimentos previos» (Kuhn, D., 1988). Evidentemente, en el intento de transposición epistemológica dos campos de estrategias de integración de los procesos de la ciencia —la emisión de hipótesis y el experimento— serán considerados eclécticamente en principio unitariamente, aunque de forma progresiva serán más coherentemente interrelacionados.

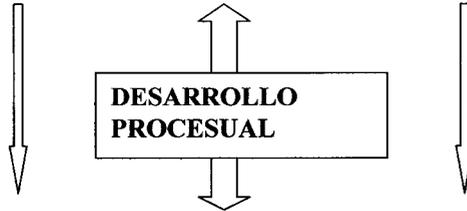
Desde este punto de partida, el desarrollo y progreso personal y social de la habilidad y autoconfianza en el proceso creativo de la investigación científica para la detección y resolución de problemas conjuntamente con la posible interiorización de la naturaleza del conocimiento científico, se plantea propiciando en la Educación Básica en primer lugar el desarrollo curricular de Actitudes, Procesos Cognitivos y Técnicas de Trabajo experimental de la ciencia, que conducirá deseablemente en niveles superiores al desarrollo de dos específicos métodos heurísticos de integración de los Procesos para la indagación científica de cuestiones problemáticas. Estos dos objetivos curriculares no pueden contemplarse —y es conveniente explicitarlo— sin una razonada interrelación con el progresivo conocimiento escolar, y a su vez con el conocimiento vivencial y tácito del alumno, que en estos heurísticos podrá ser *a posteriori* venturosamente detectable (Forteza, A., y Lahera, J., 1997).

Figura 1

**Estructuración de un modelo de iniciación metodológica.
Interrelación de dos campos (*) de estrategias de integración de los procesos
de la ciencia**

LA HIPÓTESIS

CONSTRUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE
MODELOS CIENTÍFICOS MEDIANTE LA
RECOGIDA DE DATOS DE EVIDENCIA
EMPÍRICA

**EL EXPERIMENTO**

INVESTIGACIÓN COMO
CAPACIDAD DE RESPONDERSE Y
FORMULARSE PREGUNTAS
ORIGINALES

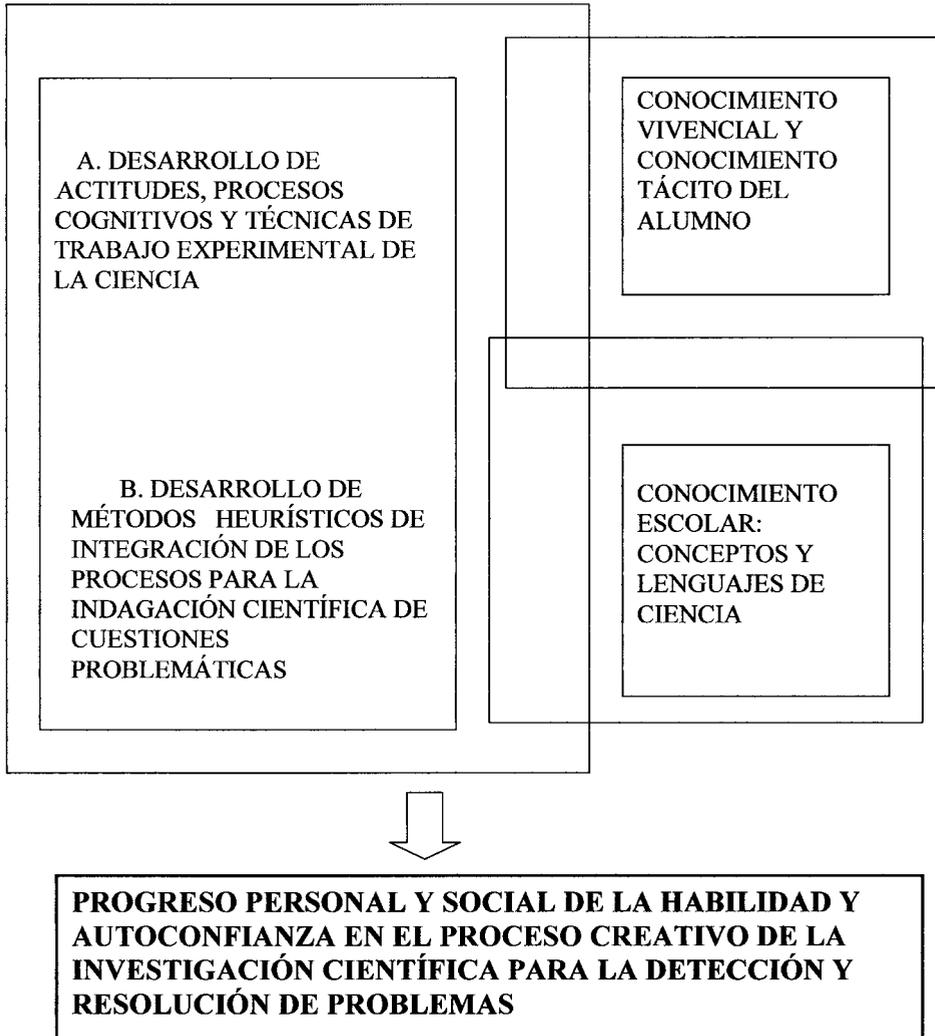
(*) Campos eclécticamente considerados unitariamente.

En cuanto al primer objetivo —intento de experiencia heurística escolar del pensamiento hipotético/deductivo con el fin de llegar a «grandes ideas generalizables para la explicación científica» (Mayer, R. E., 1992)— creemos necesaria una dosis de clarificación en el tema del pensamiento inferencial en la enseñanza de las ciencias. Las simplificaciones, la confusión de significados, el uso y abuso de un léxico en una degradada «transposición» en los ámbitos educativos puede generar una gran distorsión sobre los métodos de la ciencia. Adoptamos para este empeño en nuestro modelo un enfoque similar al formulado en el Warwick Process Science (Screen, P., 1996). El pensamiento infe-

Figura II

Epistemología del alumno.

Interiorización de la naturaleza del conocimiento científico



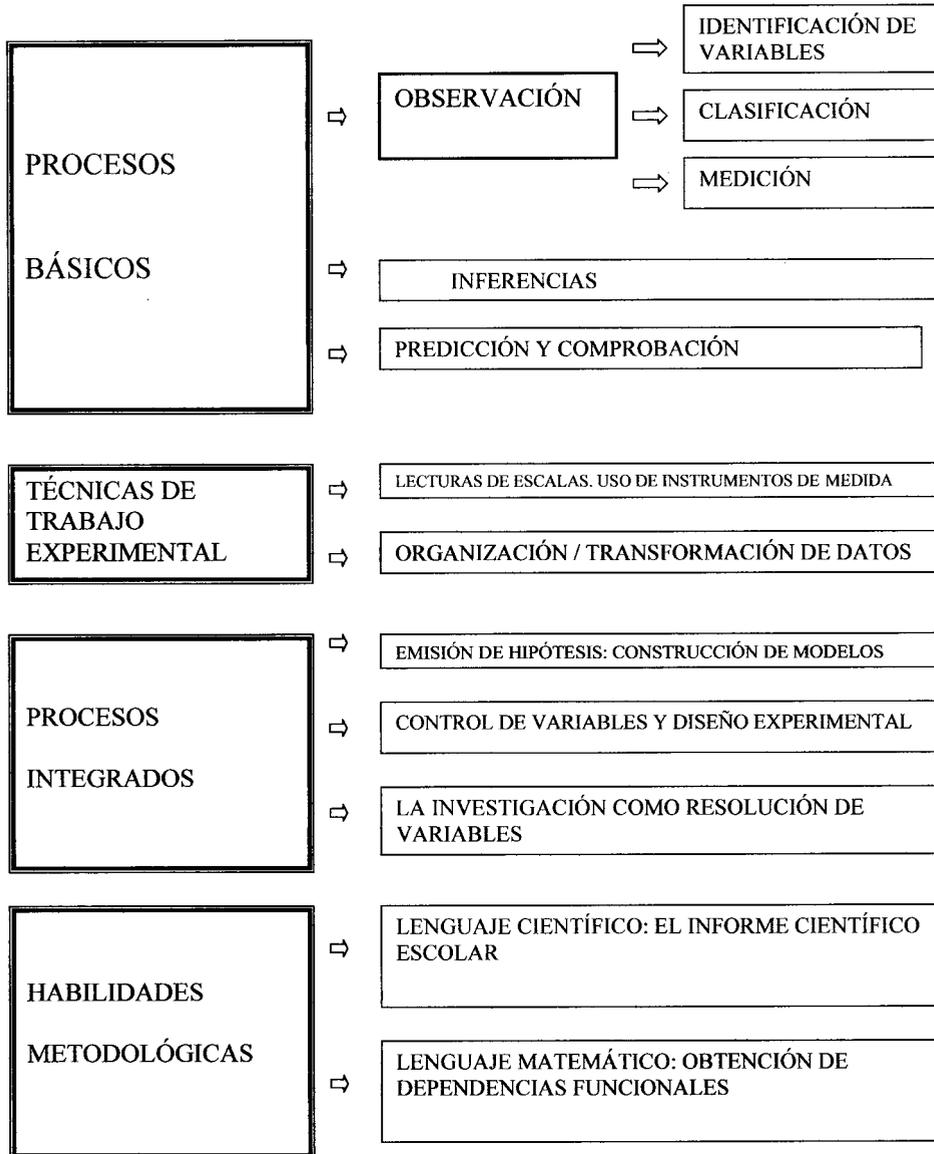
rencial —tan necesario en el alumno de los niveles educativos más básicos— permite poner en juego el pensamiento creativo; las observaciones inmediatas y la experiencia previa que habrá estructurado, sus representaciones, podrán entrar o no en conflicto; sin embargo, el estatus de «hipótesis» será otro de mayor exigencia intelectual: un conjunto de datos de observación puede dar lugar a distintas inferencias que, seguidas de predicciones y comprobaciones, podrán conducir —en un proceso no lineal de exigentes operaciones intelectuales— a una Idea que cada predicción hará más generalizable y que en principio será un *modelo científico*, cuyo uso servirá al propio alumno para la explicación científica de situaciones en un aprendizaje como reestructuración, y a su vez implícitamente para la resolución de problemas. Primordialmente, en el proceso el alumno podrá interiorizar la comprensión de la naturaleza de la evidencia empírica y obtener criterios para su evaluación (Millar, R., *et al.*, 1994).

El segundo gran objetivo, «diseño y realización de investigaciones para la resolución de problemas científicos por el alumno» —en el sentido de problema como tarea para la cual el alumno no tiene de entrada ninguna respuesta y no puede acudir a métodos rutinarios para emitirla—, la elección del tipo de problema viene condicionada por distintas categorías: finalidad, naturaleza, material disponible, contexto, exigencia conceptual y procedimental. En este aspecto disponemos de interesantes evaluaciones. En este empeño el alumno en algunas ocasiones tendrá que acudir al *experimento científico*, que requerirá identificación, operativización y control de variables entre otras habilidades intelectuales y técnicas, procesos para los que el alumno ha sido entrenado y que le permitirán resolver y contestarse cuestiones de interés sin el uso de fórmulas y algoritmos, y con la experiencia escolar de las operaciones intelectuales que requiere una transposición del Experimento, según Bunge «la más rica de todas las formas de experiencia humana» (1989). Las pequeñas Investigaciones en el Aula (DES, 1987), en una visión holística de la investigación científica y en un contexto específico, podrán conducir al final de la etapa educativa obligatoria a la interiorización de la Hipótesis Cuantitativa, que puede llevar a relaciones matemáticas entre magnitudes físicas y, por lo tanto, a la construcción de conocimientos científicos en una labor de investigación, que se plantea como reto del Modelo de Aprendizaje. En cualquier caso, queda implícita la capacitación del alumno para Aprendizajes como Investigación (Gil Pérez, D., y Valdés Castro, P., 1996) en la Educación Secundaria, y en niveles universitarios, cuando los dos grandes campos hasta este momento considerados con entidad propia podrán ser a su vez coherentemente interaccionados.

En la Fig. III se muestra lo que a nuestro juicio y en estos niveles de enseñanza puede ser la categorización idónea de la transposición de los procesos

Figura III

Categorización de los procesos científicos como métodos y habilidades investigativas



de la ciencia en *métodos escolares* de acercamiento a la ciencia. En primer lugar, los Procesos de la Ciencia como habilidades cognitivas se agrupan en dos grandes categorías: Procesos Básicos y Procesos Integrados (AAAS, 1967). Un campo aparte es la categoría de Técnicas de Trabajo Experimental como habilidades instrumentales (Bandiera, N., *et al.*, 1995), y un aspecto presente en todo el proceso de aprendizaje constituye la categoría de Habilidades Metodológicas que incluye el desarrollo de dos tipos de lenguaje: el lenguaje científico para la Comunicación (Astolfi, J. P., *et al.*, 1991) y el lenguaje matemático para la obtención de dependencias funcionales entre variables (Shell Center for Mathematical Education, 1990).

Estos cuatro campos comprenden a su vez diez categorías: las tres primeras correspondientes a los Procesos Básicos de *Observación, Inferencia y Predicción*; y la experiencia de *Lectura de escalas y uso de instrumentos*, junto a la *Organización y Transformación de datos* —que implica la representación gráfica y simbólica—, constituyen el campo de Técnicas de Trabajo Experimental. Se contemplan tres categorías en el campo de los Procesos Integrados, verdaderas estructuras heurísticas de pensamiento: *Emisión de hipótesis* como grandes ideas generalizables de la Ciencia, *Control de variables y diseño experimental*, y la *Investigación como resolución de problemas*. Incluidas en el Proceso Básico de Observación Científica están contempladas las categorías de *Identificación de variables, Clasificación y Medición*. La secuenciación de las distintas categorías y subcategorías en el proceso de aprendizaje podrá ser flexible, al hacer compatible Objetivos Curriculares y Contexto Escolar.

El Modelo, a nuestro juicio, será válido si a la vez está contemplado el «Contexto de aprendizaje» (Fraser, B., 1986) como interpretación semiótica de una realidad compleja (Shapiro, S. B. 1986) encaminada a una posible interiorización de la metodología científica de creación de conocimientos. En principio serán tres las exigencias fundamentales: la adecuada estructura flexible y multifuncional del espacio físico, la especificidad de los Materiales de Trabajo, y el *clima* idóneo de aprendizaje, con implicaciones éticas y psicológicas por parte del profesor, basadas en fundamentados planteamientos epistemológicos.

Los materiales curriculares diseñados con el enfoque contemplado ven agilizada una integración real de los contenidos curriculares escolares de Área, y la necesaria selección de tramas conceptuales será a su vez la base en la vertebración de Actividades de Aprendizaje. Evidentemente, la condición primordial para la puesta en práctica del Modelo en la Educación Científica Básica es el ineludible desarrollo de Modelos formativos específicos del profesorado.

Por último, queremos hacer alusión al aspecto problemático de la Evaluación. Intentamos resumir en cinco puntos clave las exigencias básicas del Modelo: 1) La evaluación del proceso de aprendizaje debe ser para el alumno *pauta* de aprendizaje. 2) El aspecto más importante en la evaluación es la consciencia interiorizada por el profesor de la intencionalidad primordial del Modelo de enseñanza. 3) Es en los niveles básicos educativos donde podrá intentarse una iniciación metodológica con visión experiencial holística y no reduccionista; necesariamente se contempla una serie de componentes en el desarrollo para lograr un *todo*. 4) La interiorización de la metodología científica será forzosamente un proceso lento, a veces impredecible, a la vez personal y social. 5) Una vía para la selección de estrategias de evaluación idóneas —cambio de estatus de conocimiento y de madurez en la evolución en el proceso— lo situamos en la sugestiva línea abierta de investigación de la cognición y el lenguaje en las clases de ciencias. Con gran acierto afirma Woolnough (1991) que «la calidad de una investigación es reconocible pero no explícitable».

Es perceptible en general la deficiencia de reflexión previa sobre las novedades curriculares desde la didáctica específica. En este sentido va dirigido el empeño que pretendemos poner de manifiesto en este trabajo, en el que presentamos la vertebración de un Modelo de desarrollo metodológico en la educación científica básica.

El núcleo y motor de la Didáctica Específica son los intentos de fundamentar los objetivos de las decisiones curriculares desde criterios disciplinares y metadisciplinares; en otras palabras, desde la experiencia en el conocimiento. Sólo así serán posibles las finalidades pedagógicas perseguidas. Nuestra opinión es que éste es el camino para una deseable teoría consensuada sobre los contenidos curriculares, que implicaría una mayor integración entre la investigación en la didáctica específica y la práctica escolar.

Proyección en la práctica

La proyección en la práctica de nuestro Modelo se concreta inicialmente en un Proyecto de Investigación Educativa (Forteza, A., y Lahera, J., 1998), cuyo objetivo general era indagar sobre las posibilidades, limitaciones y funcionalidad de los Procesos científicos como contenidos curriculares en el Área de Ciencias de la Naturaleza de ESO, desde el ámbito de las Ciencias Físicas, y desde un Modelo de iniciación metodológica. La duración del Proyecto —cursos 1996/97 y 1997/98— nos permitió, desde dos distintos contex-

tos de aprendizaje, disponer de datos suficientes para la presentación de propuestas en el ámbito escolar y en los Planes de Formación del Profesorado.

Desde la implantación de los Planes de Estudios 1992 en la titulación de Maestro, con las posibilidades de la optatividad, nuestras primeras conclusiones se aplican en el diseño de la asignatura LC *Procesos científicos y Técnicas de trabajo experimental*, que se concreta en nuestro caso en la propuesta del Programa correspondiente, que ha ido evolucionando en paralelo con nuestra investigación. Se asume su desarrollo en un enfoque práctico con la experimentación y evaluación, en el Laboratorio de Física, de Ejemplificaciones en las que están implicados significados físicos básicos en una integración real de contenidos curriculares de área. Podemos calificar la experiencia como muy positiva, concretándose en aportaciones valiosas de Memorias personales procedentes de numerosos alumnos de diversas especialidades y titulaciones, y en el «contexto» idóneo de trabajo emergido.

Referencias bibliográficas

- AAAS (1967). *Science: A Process Approach*. New York: Serox Corporation.
- Astolfi, J. P., et al. (1991). *Compétences méthodologiques en Sciences expérimentales*. París: INRP.
- Bandiera, N., et al. (1995). Una investigación sobre habilidades para el aprendizaje científico. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 13, n.º 1, pp. 46-54.
- Bunge, M. (1989). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- DES (1987). *Assessment of Performance Unit (APU). Assessing Investigations Science Report for Teachers*, 9. Londres: HmsO.
- FORTEZA, A., y LAHERA, J. (1998). *Los procesos científicos en el Área de Ciencias de la Naturaleza de ESO. Un planteamiento de investigación en Ciencias Físicas*. Memoria de Investigación del Proyecto PR/96-6860. Madrid: MEC CIDE.
- (1997). Una situación problemática abierta en el ámbito de la formación inicial de maestros: Análisis procesual y conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, n.º extra, V Congreso.
- Fraser, B. J. (1986). *Classroom Environment*. Londres: Croom Helm.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Gil Pérez, D., y Valdés Castro, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: Un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol.14, n.º 2, pp. 155-163.

- Glynn, S. M., *et al.* (eds.) (1991). *The psychology of Learning Science*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, Ass.
- Halpern, D. F. (ed.) (1992). *Enhancing Thinking Skills in the Sciences and Mathematics*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass. Publ.
- Izquierdo, M., *et al.* (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 17, n.º 1, pp. 45-59.
- Kuhn, D., *et al.* (1988). *The development of scientific thinking skills*. California: Academic Press Inc.
- Mayer, R. E. (1992). Knowledge and Thought: Mental Models that support Scientific Reasoning, en Duschl, R. A., y Hamilton, R. J. (eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. Albany: State University of New York Press.
- Screen, N. P. (1996). *Warwich Process Science*. Southampton: Ashford Press.
- Shapiro, S. B. (1986). Survey of basic instructional values in humanistic education. *Journal of Humanistic Education and Development*, vol. 24, pp 144-158.
- Shell Center for Mathematical Education (1990). *El lenguaje de funciones y gráficas*. MEC: Servicio Editorial Universidad País Vasco.
- Sternberg, R. J. (1987). Questions and Answers about the Nature and Teaching of Thinking Skills, en Baron, J. B., y Sternberg, R. J. (eds.), *Teaching Thinking Skills: Theory and Practice*. New York: W. H. Freeman and Co.
- Woolnough, B. E. (1991). Practical Science as a holistic activity, en Woolnough, B. E. (ed.), *Practical Science. The role and reality of practical work in school science*. G. B.: Open University Press.