



La construcción de conocimientos de ciencias físicas en el ciclo 12/16. Un planteamiento de investigación

Lahera, J.

Forteza, A.

*Departamento de Didáctica de Ciencias Experimentales
Universidad Complutense (*)*

RESUMEN

En la Comunicación se muestra el planteamiento de un modelo de trabajo en el aula, como sinergia de las ideas previas de los alumnos y el marco conceptual de referencia determinado por la estructura y procesos de la ciencia. Se presentan los resultados del modelo en acción en una unidad temática.

PALABRAS CLAVE

Aprendizaje significativo. Constructivismo. Modelo en acción. Currículum. Ciclo 12/16.

Antecedentes

En la asignatura de Didáctica de Ciencias Experimentales, en la formación de maestros/profesores, venimos considerando desde hace unos años el diseño de modelos de

(*) Avda. Filipinas, nº 3
28003 Madrid



trabajo en el aula, desde los supuestos básicos de la teoría del aprendizaje significativo (Ausubel, 1976; Novak 1982), asumiendo los enfoques constructivistas (Driver 1983; Osborne, 1985) en la problemática del desarrollo del curriculum (Stenhouse, 1984) como investigación. Los planteamientos generales pudieron ser ensayados en algunos casos por los alumnos, en el período de prácticas docentes, aunque las condiciones de trabajo no fueran, en general, las más idóneas. Tuvimos ocasión de realizar investigación didáctica sistematizada durante el curso 1988/89, en que desarrollamos el Proyecto de Investigación "Diseño y evaluación de Trabajos de Experimentación de Ciencias Físicas para alumnos de 12 a 16 años", suvencionado en la Convocatoria 1987 de la Universidad Complutense. La primera fase del Proyecto, consistió, previa amplia documentación bibliográfica, en: i) Diseño de los Trabajos de Experimentación, fundamentados en el paradigma de aprendizaje significativo y acorde con el proceso científico; ii) Elaboración de Tests como instrumentos idóneos de indagación de las ideas previas de los alumnos, y iii) Elaboración de Materiales de aprendizaje. Los Trabajos correspondían a las siguientes Unidades Temáticas: La materia, El movimiento, La energía, Las cargas en movimiento, La luz. La segunda fase del Proyecto se realizó en el aula/laboratorio de la Escuela Universitaria con un grupo aleatorio de alumnos de enseñanza básica. El tiempo asignado al Proyecto permitió evaluar, en un enfoque marcadamente constructivista y de investigación, sólo parte de las Unidades propuestas, constatando que la investigación didáctica en acción es un proceso muy lento, en términos temporales. En la actualidad seguimos completando estas investigaciones.

Planteamiento de trabajo en el aula

Nuestra *propuesta* se presenta esquemáticamente en el siguiente diagrama (Ver fig.1):

Como se indica, el modelo se basa esencialmente en la sinergia de: a) las ideas previas de los alumnos y b) el marco conceptual de referencia determinado por la estructura y procesos de la ciencia. Este enfoque metodológico intenta evitar dos tendencias educativas extremas: el aprendizaje por descubrimiento autónomo -ampliamente criticado por sus resultados - y el aprendizaje que, si bien contempla el proceso científico, ignora las concepciones o representaciones previas de los alumnos, actuando frecuentemente contra ellas.

Las *ideas previas* se indagan principalmente por conversaciones (colectivas e individuales) sobre la motivación de los alumnos, por medio de pretests adecuados sobre la motivación de los alumnos, por medio de pretests adecuados sobre las cuestiones básicas y con la elaboración de posters (grupales y de aula). Las ideas son así explicitadas. La reestructuración de ideas se hace principalmente en debate colectivo, discutiendo semejanzas y diferencias, provocando situaciones de conflictos, lo que debe conducir a una primera clasificación, incluso en forma de listado. La selección se realiza ahora según criterios de categorización científica espontánea (desde el conocimiento común, desde la ciencia de los alumnos), considerando también el interés que presentan y la interacción con el entorno natural y social.

Paralelamente, el *marco conceptual de referencia*, desde la propia ciencia y desde el curriculum escolar de ciencia, es contemplado por el profesor, que, para sí, debe explicitar los conceptos, con coherencia científica y adaptación al nivel cognitivo de los alum-

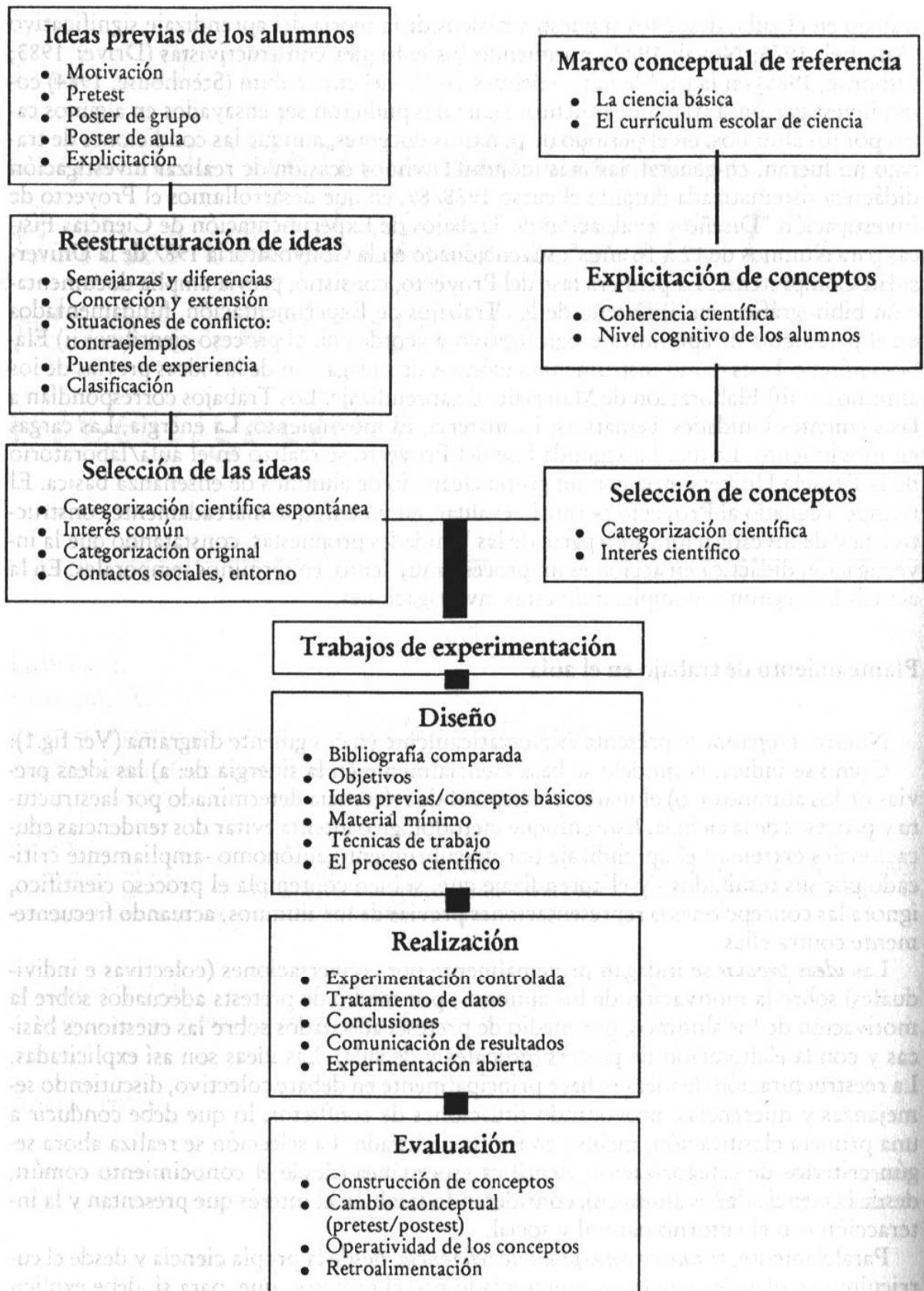


Figura 1. Planteamiento del modelo de trabajo



nos, atendiendo a los supuestos de la psicología evolutiva. También selecciona los conceptos atendiendo a la categorización científica, interés, originalidad e inscripción en el contexto ciencia/sociedad.

En el modelo de trabajo que propugnamos, el trabajo de aula, los *Trabajos de Experimentación*, deben surgir de la conjunción de estos aspectos parciales. La forma de realización es objeto de controversias y cuestión clave que pudimos comprobar se preguntan los propios creadores del constructivismo puro(1). ¿Cómo confluye el pensamiento del alumno con el pensamiento del profesor, cómo seguir adelante, si éstos difieren? ¿Cómo se construyen los conocimientos científicos a partir de las representaciones de los alumnos, cuando son en el principio incompatibles?

En estas circunstancias, en nuestro modelo los Trabajos de Experimentación, el trabajo de aula, se fundamenta en las ideas previas y en la ciencia y sus procesos - para avanzar según las ideas concordantes con la ciencia, para resolver cuando son disonantes. En principio, son consideradas técnicas de trabajos generales provenientes incluso de áreas no científicas y así la realización concreta de estas técnicas, con las especificidades propias de tales como el tratamiento de datos y comunicación de resultados. El trabajo de aula se completa con la propuesta de *actividades abiertas* que posibilitan un mayor desarrollo autónomo del alumno, que favorecen la creatividad científica en acción.

La *evaluación* del trabajo escolar debe ser coherente con estos planteamientos y debe contemplar prioritariamente la re/construcción y operatividad de los conceptos. El mismo test de indagación de ideas previas, (pretest), aplicado transcurrido el tiempo, (postest), nos orientará sobre el cambio conceptual logrado y sobre la persistencia de las ideas previas, a pesar del proceso de aprendizaje seguido.

Los resultados del trabajo en el aula de un curso deberán servir para mejorar los planteamientos del curso siguiente.

El modelo en acción: un ejemplo

Primeras Conclusiones

Presentamos el modelo de la Unidad Temática La materia, con alumnos de 12/13 años del colegio de Prácticas anexo a la Escuela Universitaria. La indagación de ideas previas se realizó en un colectivo de $N = 76$ alumnos. El modelo se experimentó con un grupo aleatorio ($N = 12$), debiendo reseñar que estos alumnos, desde su sistema de enseñanza, tenían conocimiento e incluso destrezas en la organización y presentación de datos, preferentemente en forma gráfica, y opinamos que esto favoreció el desarrollo de nuestros planteamientos. Su aptitud fue en todo momento muy positiva, diríamos muy científica.

El test de *indagación de ideas* se diseñó con un enfoque prioritariamente gráfico: en figuras se muestran situaciones vivenciales o experienciales que deben interpretar y resolver los alumnos, también preferentemente de forma gráfica (completando el dibujo,

(1) Hacemos referencia a nuestra visita académica, en junio de 1989, al Centre for Studies in Science and Mathematics Education, de la Universidad de Leeds (U.K.)



señalando incorrecciones, etc). Los resultados (como índice se expresa el porcentaje sobre el total de los alumnos) apuntan a las siguientes conclusiones.

1. Un porcentaje significativo de alumnos tiene la clásica confusión masa/peso. Ante la solicitud de que el alumno explique a su manera el significado del vocablo "masa", un 31.2 indica "cantidad de materia". Mejores respuestas del vocablo anota "peso de la materia". Mejores respuestas del vocablo "volumen": un 57.0 lo identifica como "espacio/lugar" que ocupa una cosa o cuerpo. En ambos casos, encontramos respuestas extrañas (¡para el profesor!) y tautologías.
2. Detectamos una utilización aceptable de los vocablos masa y volumen en la vida cotidiana, aunque los alumnos encuentran alguna dificultad cuando, ante una lista de productos de mercado, deben señalar las que usualmente se miden en masa o en volumen.
3. En un ítem se mostraba un vaso con agua (en un caso lleno, en otro a medias) y una piedra afuera, requiriéndoles qué pensaban que sucedía cuando la piedra se echaba dentro del vaso, y para qué podría servir esto. Los alumnos dan respuesta correcta (71.8 y 81.2), pero sólo unos pocos (12.5 y 10.9) dicen algo sobre el propio volumen de la piedra.
4. En otro ítem, se presentaban separadamente dos vasos con agua, medio llenos, cada uno con una regla lateral, marcando el agua el mismo nivel en ambos vasos. Al solicitarles que completaran el dibujo cuando en un vaso se echaba una bola pesada de plomo y en el otro, una ligera de aluminio, del mismo tamaño, la respuesta correcta correspondía solo a 29.7. En un ítem similar con un vaso con agua y otro con aceite, el índice de respuestas correctas es aún más preocupante: 18.7. En otro ítem, en que en tres vasos iguales, con agua al mismo nivel, se habían introducido en cada uno un cuerpo geométrico de forma distinta, solo un 15.6 indicó que esto era posible. Así, hemos detectado en nuestra muestra de alumnos errores conceptuales en la medida de un cuerpo sólido por desplazamiento de un líquido.
5. Dificultades en "lo cúbico". En un ítem se mostraba un cubo de plástico hueco de 2 cm. de lado lleno de agua, y al lado, una probeta graduada. Al solicitar el dibujo completo después de echar el agua del cubo en la probeta, las respuestas correctas (10.9) deben hacer reflexionar al profesor.
6. Que un cuerpo desaloje en agua su propio volumen no parece evidente a los alumnos. En un ítem, se mostraba gráficamente cómo una bola, sujeta con un hilo, era metida en una probeta que contenía agua a un nivel dado, mostrando en otra secuencia el nuevo nivel del agua. ¡Únicamente dieron una respuesta cuantitativa válida un reducido 9.4!.
7. En otro ítem, de forma secuenciada, se presentaban diversos pares de cubos, indicando en cada uno su arista y masa. Se solicitaba su clasificación. Los resultados indican un grado aceptable de capacidad de clasificación de cubos, con la variables masa y volumen, excepto cuando los dos cubos de cada par tienen distinta masa y volumen. En este último caso, ante la decisión de si están hechos del mismo material, el índice de respuestas correctas es prácticamente nulo. Todo ello indica que los alumnos tienen una idea implícita de "densidad", sin reconocer su expresión formal.



8. Un porcentaje significativo (35.9) asume que el aire tiene volumen (al señalar el dibujo correcto de un vaso metido boca abajo en agua). Asimismo un porcentaje análogo (37.5) piensa que el aire tiene masa (al interpretar correctamente cuando en una balanza equilibrada, con un globo vacío en un platillo, se desequilibra cuando se pone el globo hinchado).

Por otra parte, completando estas indagaciones, la muestra seleccionada de alumnos, elaboró posters grupales (3 posters en grupo de 4 alumnos) y, en debate coordinado por el profesor, un poster de síntesis, que quedó expuesto en el aula durante todo el proceso. El poster comprendía los siguientes *aspectos*, redactados en el lenguaje de los alumnos. ¿Qué es materia? ¿Cómo se mide la materia? La masa: ¿cómo se observa, cómo se mide? El volumen: ¿cómo se observa, cómo se mide? ¿Varía la masa? ¿Varía el volumen? ¿Porqué, teniendo al mismo volumen, unos cuerpos pasan más que otros?. La palabra densidad. Lo que no se ve de la materia ¿Todos los cuerpos tienen materia?.

Estas ideas previas, estas motivaciones, recondujeron el proceso de aprendizaje. *El trabajo experimental* de los alumnos (en equipos de dos) presentó un alto grado de autonomía. El material necesario fue muy simple. La secuencia experimental, aplicable en cada situación, fue la siguiente: 1) Observa, describe, ordena, dibuja. 2) Haz las medidas que se te ocurran. 3) Presenta los datos (tabla, gráfica). 4) Redacta un informe del trabajo, que servía al profesor de elemento básico de evaluación, continua y global.

En la Unidad Temática *La Materia*, el trabajo de aula contempló las situaciones siguientes.

a) *Cubos de madera*. Cada grupo de alumnos trabajó con 4 cubos de madera, de distinto tamaño, que habíamos preparado en el Taller. Como instrumentos de medida, disponían de balanza y regla. Se convino en que debían aplicar la anterior secuencia experimental. Los alumnos no encontraron dificultad para medir y clasificar los cubos; a cada cubo le asignaban una serie de características: masa, lado, área, volumen, con lo que tenían ya una tabla de datos. Al sugerirles la búsqueda de alguna regularidad, la realización de alguna gráfica, los alumnos, en general, prueban la relación masa/lado, que no les aclara nada. En debate común, tras otros tanteos inoperantes, se ensaya la relación masa/volumen. ¡Y resulta que da lo mismo para todos los cubos, la gráfica es una recta! Concluyen que los cubos, a pesar de tener distintos tamaños y masas, tienen en común la relación masa/volumen, y todos son de la misma madera. Es tentador admitir que el concepto de densidad, como propiedad característica, ha sido construido por los alumnos; los resultados parecen avalarlos.

b) *Bolas de acero*. Cada grupo disponía de 4 bolas de acero, de cojinetes, de distintos tamaños. No hubo dificultades en la medida de masas; sobre el volumen, algunos lo identificaban con el diámetro, otros con $(\text{diámetro})^3$... Una probeta con agua, en cada grupo, podía servir para la medida del volumen de cada bola, pero con la bola más pequeña el procedimiento parecía fallar: apenas subía el nivel de agua. Convenimos en que lo más práctico sería plantear este asunto en la clase de geometría, de matemáticas.

c) *Trozos de mármol*. Asimismo, cada grupo podía operar con 4 trozos de mármol, que habíamos troceado en el taller. En este momento los alumnos trabajaron ya sin problema con la balanza y con la probeta con agua. También en el tra-



tamiento de datos, fueron directamente al ensayo de la relación masa/volumen, y la gráfica correspondiente. Los trozos de mármol tenían algo en común.

d) *Midiendo agua*. Los alumnos disponían de tubos de ensayo (y tapones, sin decirles para qué), balanza y probeta. La cuestión era medir agua, es decir, medir masa y volumen de agua. De acuerdo con lo anterior, debían operar con 4 muestras de agua: 4 tubos con cantidades distintas de agua, cuyo respectivo volumen habían medido previamente en la probeta. Con respecto a la medida de la masa de agua de cada tubo, no hubo problemas (algunos se olvidaron de pesar el tubo vacío, pero lo hicieron después; se aclaró la función de los tapones). En la correspondiente tabla de datos, la regularidad aparecía patente: los valores de masa/volumen eran prácticamente coincidentes, la relación masa/volumen es la unidad, la "densidad" del agua es 1. En la gráfica, la recta divide al cuadrante (m,V) en dos regiones iguales...

En los Cuadernos de trabajo de los alumnos pudimos constatar que el concepto de densidad parecía ser elaborado y asumido con operatividad, puesta de manifiesto en la resolución de problemas reales, con lápiz y papel (cómo evaluar la masa de una columna de mármol, de base cuadrada, cómo hallar la densidad del aceite, cómo distinguir unos materiales de otros).

Finalmente, dado que en el poster aparecían las cuestiones: Lo que no se ve de la materia y ¿Todos los cuerpos tienen materia?, se plantearon dos actividades abiertas.

a) *La "molécula" de agua*. Como actividad previa se planteó la estimación de la capa de pintura de una habitación, cuando se conoce el volumen de pintura que se ha empleado. (Por cierto, hubo que discutir la conservación del volumen de un líquido al derramarse o extenderse en capa, ya que las concepciones de algunos alumnos actúan más bien a la contra). Paralelamente se propuso el experimento (Proyecto IPS) de extender con los dedos, sobre una mesa o folios, una cucharada de agua. Si se calcula el espesor de la película de agua y se admite un modelo tosco de "moléculas" cúbicas, puede ser evaluado el tamaño de una molécula. Las dificultades son más bien de operaciones con números decimales. Un alumno obtuvo, en su Cuaderno, el siguiente resultado: 0,0000000001 cm³ (sic).

b) *Midiendo gases*. Desde los resultados del pretest parecía conveniente extender las actividades en sólido y líquidos a una primera consideración experimental de los gases. Pero el debate de aula conducía a procedimientos de realización complicada: pesar primero un balón vacío y después, hinchado, (el problema era que no cabía en nuestras balanzas); medir también el volumen del balón. A este respecto, algunos alumnos conocían cómo se mide la capacidad pulmonar de una persona, soplando por una goma y recogiendo el aire expirado en una botella llena de agua, colocada boca abajo en un recipiente con agua. Se hizo primero este experimento, resultando que eran necesarias botellas muy grandes.

Después se discutió qué pasaba cuando una aspirina efervescente se echa en un vaso de agua, y se diseñó un procedimiento experimental: i) Para medir el volumen de gas desprendido, a la vista de lo anterior, parecía elemental y cómodo meter rápidamente la tableta en el cuello de la botella preparada para recoger gas; el experimento funcionó. ii) Para medir la masa de gas desprendido, se preparó una balanza, colocando en un platillo un vaso con agua y, a su lado, fuera, una aspirina efervescente, equilibrando con tara o pesar en el otro platillo. En esta situación, al echar la tableta dentro del vaso, la



balanza se desequilibra, con efecto muy visible. Era evidente que el asunto había interesado a los alumnos, tanto que propusieron pasar de una experimentación cualitativa a una experimentación cuantitativa, que hicieron con la ausencia intencionada del profesor.

Comentario

La dinámica del trabajo escolar, la actitud de los alumnos, la evaluación de la construcción de conceptos y de su operatividad -deducida principalmente de los Cuadernos de Trabajo de los alumnos- indican en principio la idoneidad y eficacia del modelo en acción seguido, aunque aquí nos hayamos referido sólo a un tema muy concreto y a una muestra reducida de alumnos; en la actualidad estamos desarrollando el modelo, a fin de obtener conclusiones de mayor generalidad. Aparece también como asunto pendiente la indagación posterior sobre la persistencia de las ideas previas erróneas de los alumnos, a pesar del proceso de aprendizaje seguido.

Estimamos que los resultados de nuestro trabajo pueden contribuir al diseño curricular en el ciclo 12/16, en un marco de investigación.

REFERENCIAS

- APU (1988). *Assesment of Performance Unit*. Science Proyect. Science Reports. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds.
- AUSUBEL, D. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo*. Trillas, México.
- BUNGE, M. (1976). *La investigación científica*. Ariel, Barcelona.
- CLIS (1989). *Children's Learning in Science Project*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds.
- DRIVER, R. (1983). *The Pupil as Scientist?*. Open University Press, Milton Keynes, England.
- DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHEN, A. (1985). *Children's Ideas in Science*. Open University Press, Milton Keynes, England.
- DRIVER, R. (1986). "Psicología cognitiva y esquemas conceptuales de los alumnos". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 4, Núm. 1.
- DRIVER, R. (1988). "Un enfoque constructivista para el desarrollo del curriculum de Ciencias". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 6, Núm. 2.
- FEYERABEND, P. (1981). *Contra el método*. Ariel, Barcelona.
- HODSON, D. (1986). "Phylosophy of Science and Science Education". *Journal of Philosophy of Education*. Vol. 20, Núm. 2.
- LAKATOS, I. (1968). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza, Madrid.
- OSBORNE, R., FREYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's science*. Hinneman, London.
- POPPER, K. (1967). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, Madrid.
- STENHOUSE, L. (1984). *Investigación y desarrollo del curriculum*. Morata, Madrid.
- TOULMIN, S. (1967). *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza, Madrid.