

LOS TRABAJOS PRACTICOS DE FÍSICA Y QUÍMICA Y LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA

DANIEL GIL-PÉREZ Y JOSÉ PAYÁ

Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Valencia.

SUMMARY: An analysis of practical works in Physics and Chemistry secondary school curricula is done.

Results show that most of these experiments do not have any resemblance with scientific work. Consequently, pupils do not become acquainted with scientific methodology.

Another type of practical work —based on a science learning model as a conceptual and methodological change— is presented. Results obtained are also discussed.

Introducción

Pese a la importancia concedida desde hace varias décadas a los trabajos prácticos en la enseñanza de las Ciencias y concretamente de la Física y Química como muestra una abundante bibliografía (Payá, 1983) tanto por su poder motivador, como por su capacidad para familiarizar a los alumnos con la metodología científica, los análisis realizados últimamente (Yager y Penick, 1983) muestran resultados que pueden calificarse de decepcionantes. Como hemos intentado justificar en otro lugar, ello es debido a una incorrecta comprensión de la naturaleza de la metodología científica y a los planteamientos didácticos inadecuados que se derivan (Gil, 1983).

En el marco de un amplio estudio sobre la enseñanza de las Ciencias, tendiente a fundamentar una teoría didáctica, el presente trabajo —continuación y profundización de otros precedentes (Gil y Payá, 1984 a y b)— se centra en la consideración de los trabajos prácticos de Física y de Química en los niveles de Educación General Básica y en las Enseñanzas Medias.

1. Hipótesis de trabajo

Trataremos de mostrar en primer lugar que:

a) Los trabajos prácticos de Física y de Química realizados en Enseñanza General Básica y en la Enseñanza Media no familiarizan, ni siquiera mínimamente a los alumnos con la metodología científica.

b) Que el profesorado de Física y Química de estos niveles posee una visión incorrecta —caracterizada por un empirismo extremo— de dicha metodología, con olvido de todo lo que supone pensamiento divergente y reduciendo la idea de "Método Científico" a observación y manipulación experimental, en contra de las concepciones epistemológicas actuales que sitúan a la hipótesis en el centro del trabajo científico (Hempel, 1976) (Chalmers, 1984). De acuerdo con esto, esperamos encontrar en los trabajos prácticos incluidos en los textos y en la forma misma en que el profesorado los plantea, una ausencia de aspectos fundamentales, tales como la ya citada emisión de hipótesis, o del mismo diseño a realizar.

c) La indudable capacidad motivadora que los trabajos prácticos tienen a priori, para los alumnos, se convierte en decepción después de realizarlos.

Estas hipótesis se fundamentan en un análisis de los paradigmas vigentes de enseñanza de las Ciencias —"por transmisión verbal de conocimientos" y "por descubrimiento inductivo y autónomo"— que hemos desarrollado en otro lugar (Gil, 1983). Dicho análisis de la enseñanza habitual de las Ciencias está acompañado de una propuesta, teóricamente fundamentada, de enseñanza por descubrimiento dirigido que concibe el aprendizaje como un cambio conceptual y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985). De la consideración de dicho paradigma

ma se derivan las siguientes hipótesis, cuya contrastación es también objetivo del presente trabajo:

d) Es posible transformar las prácticas habituales de Física y de Química de forma que posean las características de un trabajo de investigación. La idea básica que preside esta transformación es la existencia de cierto isomorfismo entre la producción de conocimientos científicos y el aprendizaje significativo de los mismos (Gil, 1983). De acuerdo con ello, se trata de proceder a un cuidadoso trabajo de traducción de la información a transmitir, en actividades significativas que permitan a los alumnos rehacer en cierto modo —con las necesarias simplificaciones y ayudas— el camino seguido originariamente por los científicos, para producir dichos conocimientos. Se trata pues de plantear problemas a los alumnos que conduzcan a la emisión de hipótesis fundamentadas, invención de diseños experimentales adecuados, etc., todo ello con la ayuda del profesor que juega el papel de “director de investigaciones”.

e) Dichas prácticas así transformadas conducen a una efectiva familiarización de los alumnos con las características esenciales de la metodología científica.

f) La capacidad motivante y facilitadora de una adquisición significativa de conocimientos de este tipo de trabajos, resulta significativamente superior a la de las prácticas usuales.

2. *Diseño experimental*

A continuación exponemos someramente el diseño experimental concebido para la contrastación de cada una de las hipótesis:

a) Para contrastar la escasa familiarización de los alumnos con la metodología científica, incluso al nivel más elemental de reconocimiento de aspectos básicos de la misma, se han utilizado los textos muy explícitos de Blas Pascal —sobre el horror al vacío y la presión atmosférica, que hemos reproducido en un trabajo anterior (Gil y Payá, 1984a)— y de Claude Bernard —sobre el envenenamiento por monóxido de carbono, utilizado también en otro contexto (Calatayud, Gil et al., 1979). Con dichos textos se ha pretendido ver en qué medida los alumnos, se refieren a aspectos básicos y claramente explícitos en los mismos, como son el problema planteado, las distintas hipótesis manejadas, los diseños experimentales, hasta llegar al análisis de los resultados y con-

clusiones alcanzadas. Se pedía para ello a los alumnos “explicitar cualquier aspecto de la metodología científica que se vea reflejado en el texto adjunto. A tal efecto proceder a cerrar entre paréntesis y numerar los diferentes fragmentos en que se observe algún aspecto de la metodología científica. Escribir después en el reverso de la hoja los números correspondientes a cada paréntesis, indicando a qué aspectos corresponde cada uno de ellos”. Nuestra hipótesis de partida hacía suponer que este reconocimiento iba a ser muy escaso por lo que optamos por considerar positiva cualquier referencia, incluso confusa, a los aspectos mencionados.

b) Para contrastar la visión que de la metodología científica trata de transmitirse a los alumnos a través de los trabajos prácticos incluidos en los textos o preparados por el profesorado, hemos recurrido a un análisis de los textos de EGB, BUP y COU y a solicitar de un número estadísticamente significativo de profesores —en activo y en formación— la descripción detallada de cómo plantean una práctica (Gil y Payá, 1984a). En ambos casos se ha considerado en qué medida los trabajos prácticos de los textos o propuestos por el profesorado contemplan los siguientes aspectos considerados fundamentales en la enseñanza y aprendizaje como investigación (Tamir, 1983) (Padilla, Okey y Garrard, 1984): planteamiento del problema, búsqueda bibliográfica, emisión de hipótesis, propuesta de diseño, realización del experimento y análisis e interpretación de los resultados.

c) Para contrastar la valoración negativa que para los alumnos poseen los trabajos prácticos tradicionales —cara a su familiarización con la metodología científica— se ha recurrido a la técnica habitual de los cuestionarios solicitando indiquen qué aspectos de la metodología científica aparecen en los trabajos prácticos realizados habitualmente.

d) Para contrastar la posibilidad de transformación de las prácticas tradicionales en otras que posean las características de un trabajo de investigación (Gil, 1982) se ha procedido a un detenido trabajo de traducción de los trabajos prácticos de Física (Calatayud, Gil et al., 1979) y de Química (Calatayud, Furió et al., 1980) que han sido sistemáticamente ensayados por un amplio número de profesores que han recogido y puesto en común el trabajo realizado por sus alumnos. El método ha sido utilizado en numerosos cursos de perfeccionamiento del profesorado y se ha recogido la va-

loración de los asistentes mediante un cuestionario ad hoc. Se trataba así de contrastar la aceptación por el profesorado de este tipo de trabajo práctico como una de las formas de mostrar su validez.

e) La mayor familiarización con la metodología científica de los alumnos que han realizado dichas prácticas se ha contrastado inicialmente a través del reconocimiento por dichos alumnos de los aspectos clave de la metodología presentes en los mismos textos mencionados anteriormente.

f) Por último, se ha recurrido a recoger la valoración que de los trabajos prácticos hacen los alumnos que han trabajado durante un año o más, según el nuevo modelo.

3. Resultados

El cuadro 1 recoge los aspectos de la metodología científica obtenidos al analizar un texto científico de B. Pascal por alumnos de BUP (N= 318), COU (N= 173) y Magisterio (N= 128) que han realizado trabajos prácticos tra-

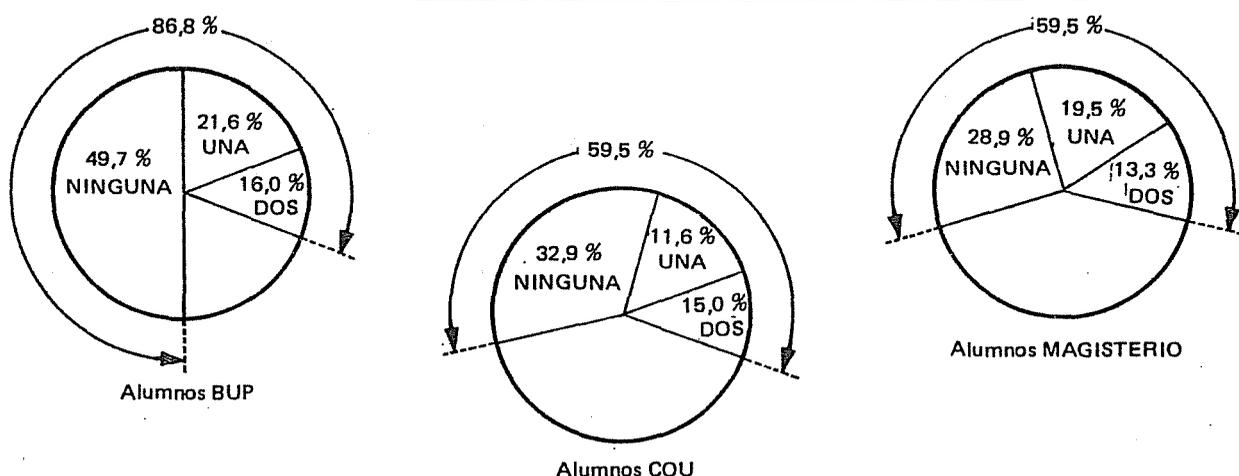
dicionales y en el cuadro 2 se muestra el porcentaje de estos alumnos que han identificado un número dado de aspectos. Ambos cuadros muestran de acuerdo con nuestra hipótesis la escasa familiarización de los alumnos con la metodología científica dado que aspectos claves y muy explícitos no son reconocidos. Concretamente, más del 85 % de los alumnos de BUP no han llegado a referirse correctamente a más de dos aspectos metodológicos y casi la mitad a ninguno. Señalemos aunque con carácter provisional (no se posee aún suficiente estadística), que los resultados obtenidos con el texto de C. Bernard son todavía más negativos.

Por el contrario este reconocimiento aumenta sustancialmente como muestran los cuadros 3 y 4, cuando los alumnos han realizado durante el curso, las prácticas como investigación que proponemos. Este, es el claro resultado obtenido con un grupo experimental de 40 alumnos de 2º de Magisterio (especialidad de Ciencias), al que se pasó al final de curso el texto de B. Pascal.

CUADRO 1: ASPECTOS DE LA METODOLOGIA CIENTIFICA RECONOCIDOS POR LOS ALUMNOS AL ANALIZAR UN TEXTO CIENTIFICO

Aspectos considerados	BUP (N= 318)		COU (N= 173)		MAGIS (N= 128)	
	%	s. d	%	s. d	%	s. d
Planteamiento del problema.	36,8	(2,7)	53,7	(3,8)	44,5	(4,3)
Hipótesis de acuerdo con los conocimientos de la época. Nuevas observaciones.	22,6	(2,4)	34,1	(3,6)	43,0	(4,2)
Interpretación según la primera hipótesis.	8,8	(1,6)	31,8	(3,5)	35,1	(4,2)
Nueva hipótesis.	7,5	(1,5)	15,0	(2,7)	7,0	(2,3)
Diseño del experimento y realización	9,7	(1,7)	32,4	(3,6)	34,4	(4,2)
Análisis y conclusiones.	8,5	(1,6)	23,7	(3,2)	25,8	(3,9)
	5,0	(1,2)	21,4	(3,1)	22,6	(3,7)

CUADRO 2: PORCENTAJE DE ALUMNOS QUE HAN IDENTIFICADO UN NUMERO DADO DE ASPECTOS



CUADRO 3: ASPECTOS DE LA METODOLOGIA CIENTIFICA RECONOCIDOS AL ANALIZAR UN TEXTO CIENTIFICO (de B. Pascal)

Aspectos considerados	GRUPO A		GRUPO B	
	%	s. d	%	s. d
Planteamiento del problema	44,5	(4,5)	100	—
Hipótesis de acuerdo con los conocimientos de la época	43,0	(4,4)	67,5	(7,4)
Nuevas observaciones	35,1	(4,2)	100	—
Interpretación según la primera hipótesis	7,0	(2,3)	70,0	(7,3)
Nueva hipótesis de Pascal	34,4	(4,2)	97,5	(2,5)
Diseño del experimento y realización	25,8	(3,9)	92,5	(4,1)
Análisis y conclusiones	22,6	(3,7)	100	—

GRUPO A (N= 128) Alumnos que han realizado prácticas habituales en un contexto de enseñanza por transmisión verbal.
 GRUPO B (N= 40) Alumnos que han realizado prácticas como investigaciones en un contexto de enseñanza por descubrimiento dirigido.

CUADRO 4: PORCENTAJE DE ALUMNOS QUE HAN IDENTIFICADO UN NUMERO DADO DE ASPECTOS

Número de aspectos identificados	GRUPO A		GRUPO B	
	%	s. d	%	s. d
Ninguno	28,9	(4,0)	—	—
Uno	19,5	(3,5)	—	—
Dos	13,3	(3,0)	—	—
Tres	7,8	(2,4)	—	—
Cuatro	10,9	(2,8)	5,0	(1,9)
Cinco	10,9	(2,8)	15,0	(3,2)
Seis	7,8	(2,4)	28,5	(4,0)
Todos	0,8	(0,8)	52,5	(4,4)

GRUPO A (N= 128) Alumnos que han realizado prácticas habituales en un contexto de enseñanza por transmisión verbal.
 GRUPO B (N= 40) Alumnos que han realizado prácticas como investigaciones en un contexto de enseñanza por descubrimiento dirigido.

Resultados coincidentes se han obtenido con otros dos grupos experimentales de magisterio (en total 66 alumnos) a los que se pasó al final de curso el texto de C. Bernard (Cuadro 5).

CUADRO 5: ASPECTOS DE LA METODOLOGIA CIENTIFICA RECONOCIDOS AL ANALIZAR UN TEXTO CIENTIFICO (de C. Bernard)

Aspectos considerados	GRUPO A		GRUPO B	
	%	s. d	%	s. d
Planteamiento del problema	23,4	(5,1)	80,5	(4,9)
Ref. a conoc. de la época	20,9	(4,0)	56,7	(6,1)
Hipótesis	58,0	(6,0)	88,0	(4,0)
Diseño exp. para su contras.	67,9	(5,7)	88,0	(4,0)
Falseamiento de la hipótesis	43,2	(6,0)	86,5	(4,2)
Nueva hipótesis	46,9	(6,2)	85,0	(4,4)
Diseño para su contrasta.	54,3	(6,0)	88,0	(4,0)
Verificación hipótesis	53,0	(6,1)	86,5	(4,2)
Conclusiones y nuevos plant.	19,7	(4,8)	56,7	(6,1)

GRUPO A (N= 68) Alumnos que han realizado prácticas habituales en un contexto de enseñanza por transmisión verbal.
 GRUPO B (N= 66) Alumnos que han realizado prácticas como investigaciones en un contexto de enseñanza por descubrimiento dirigido.

En ambos casos se ha verificado (mediante el cálculo de la t de student) que las diferencias encontradas son significativas para cada aspecto considerado (con $p < 0,001$, es decir con una probabilidad que las diferencias sean debidas al azar inferior al 0,1 %).

El cuadro 6 permite verificar que tanto los textos más usuales (que cubren más del 80 %) como el profesorado en formación o en activo poseen —y transmiten a través de los trabajos propuestos— una pobrísima visión de la metodología científica, con ausencia casi total, como preveíamos, de propuestas de emisión de hipótesis —o incluso de referencias a las mismas— o de diseño de experimentos. Las prácticas se plantean pues como recetas de manipulación en las que incluso la forma de realizar el análisis de los resultados queda ya fijada o se ignora.

La valoración por los alumnos de los trabajos prácticos tradicionales queda reflejada en el cuadro 7. Los resultados obtenidos corresponden a una muestra de 509 alumnos de BUP y 142 de COU de diferentes centros.

Las diferencias en la valoración por los alumnos de los trabajos prácticos habituales y los planteados como investigación no se han realizado todavía con suficiente base estadística por lo que posponemos su publicación.

En cuanto a la valoración por el profesorado del nuevo tipo de trabajos prácticos propuestos, el cuadro 8 recoge los resultados obtenidos con 190 profesores de cursos de perfeccionamiento (73 profesores de BUP en activo, 68 del 2º ciclo de EGB en activo y 49 de los cursos de aptitud pedagógica). Los resultados se han globalizado por no existir diferencias significativas entre los mismos.

De nuevo el cálculo de la t de student permite constatar que las diferencias en la valoración de los trabajos prácticos tradicionales y los planteados como investigación son claramente significativas con p en todos los casos menor que 0,01.

Es también significativa la mayor homogeneidad (menor desviación standard) en los resultados correspondientes a las prácticas como investigación.

CUADRO 6: ASPECTOS DE LA METODOLOGIA CIENTIFICA SEÑALADOS POR EL PROFESORADO Y LOS LIBROS DE TEXTO AL PLANTEAR UN TRABAJO PRACTICO

Aspectos señalados	Profesorado (N= 46)		Libros (N= 38)	
	En activo %	s. d	En formación %	Textos %
Planteamiento del problema	69,6	(6,8)	74,6	(7,5)
Piden búsqueda de inf. bibliográfica	6,5	(3,6)	3,4	(2,6)
Proponen que el alum. plantee las hipótesis	13,0	(4,9)	1,7	(3,6)
Hacen al menos referencia a hipótesis	19,6	(5,8)	3,4	(5,0)
Proponen que el alum. haga el diseño	15,2	(5,3)	1,7	(3,6)
Realización (descripción) del experimento	100	—	89,8	(3,9)
Proponen que el alum. haga el análisis e intérprete resultados	8,7	(4,1)	—	—
				47,4
				(8,1)

NOTA: De los 75 textos analizados (14 de 7º EGB, 10 de 8º EGB, 15 de 2º BUP, 13 de 3 BUP, 13 de COU de Física y 10 de COU de Química) sólo 38 incluyen trabajos prácticos.

CUADRO 7: ASPECTOS DE LA METODOLOGIA CIENTIFICA IDENTIFICADOS POR LOS ALUMNOS EN LOS TRABAJOS PRACTICOS REALIZADOS

Aspectos reconocidos	Alumn. BUP (N= 509)		Alumn. COU (N= 142)	
	%	s. d	%	s. d
Plantearse problemas científicos	41,3	(2,2)	44,4	(4,2)
Realizar alguna búsqueda bibliográfica	6,3	(1,1)	11,3	(2,7)
Emitir hipótesis	21,6	(1,8)	14,8	(3,0)
Diseñar experimentos	16,7	(1,7)	15,5	(3,0)
Realizar experimentos	63,7	(2,1)	86,6	(2,9)
Analizar los resultados y sacar conclusiones	42,2	(2,2)	52,1	(4,2)

CUADRO 8: VALORACION COMPARATIVA POR EL PROFESORADO DE LOS TRABAJOS PRACTICOS TRADICIONALES Y LOS PLANTEADOS COMO INVESTIGACION

Calificación de 0 a 10 atendiendo al grado de familiarización que posibilitan en:	PRACTICAS HABITUALES (N= 152)		PRACTICAS INVESTIGACION (N= 190)	
	\bar{X}	s. d	\bar{X}	s. d
Plantear con precisión el problema científico	3,5	(2,0)	8,2	(1,4)
Emitir hipótesis	2,6	(2,1)	8,4	(1,3)
Diseñar montajes experimentales	2,7	(2,3)	8,5	(1,2)
Realizar la experiencia con objetivos claros	4,0	(2,4)	8,3	(1,3)
Analizar e interpretar los resultados	4,2	(2,4)	8,6	(1,4)

4. 4. Conclusiones y perspectivas

Los resultados recogidos y analizados en el apartado anterior permiten concluir:

1) El grado de familiarización con la metodología científica logrado por los alumnos de Educación General Básica y Enseñanza Medias a través de los trabajos prácticos habituales es tan escaso que ni siquiera permite el reconocimiento de aspectos claves de la misma que aparecen muy explícitos en sendos textos de B. Pascal y C. Bernard.

2) Ello está en correspondencia con la visión que de la metodología científica transmiten los trabajos prácticos incluidos en los textos de EGB o Enseñanza Media (BUP y COU) o que el propio profesorado elabora. Una visión marcada por un inductivismo extremo en la que están prácticamente ausentes las actividades de emisión de hipótesis o diseño experimental (que se proporciona ya elaborado), etc.

3) El propio alumnado valora muy negativamente las prácticas realizadas en cuanto a su capacidad para familiarizarse con los aspectos más relevantes de la metodología científica.

4) Es posible, por el contrario, preparar prácticas que respondan a las características fundamentales del trabajo científico. Un primer índice de ello lo constituyen las valoraciones que los profesores han realizado de las mismas.

5) La utilización de dichas prácticas favorece una familiarización con la metodología científica muy superior a la lograda con las prácticas habituales.

De acuerdo con lo anterior nuestro trabajo exige ahora una profundización en la validación del modelo propuesto. En particular se proyecta:

• Mostrar— a través de la transcripción del trabajo realizado en clase por los alumnos— la capacidad de los trabajos prácticos como investigación que hemos elaborado para conducir a los alumnos a emitir hipótesis plausibles, elaborar diseños válidos, etc.

• Preparar cuestionarios que midan la familiarización de los alumnos con la metodología científica de una forma más directa y profunda que el simple reconocimiento en memorias científicas.

• Medir el interés subjetivo y la influencia en la actitud de los alumnos hacia la Ciencia y su enseñanza que ejercen los trabajos prácticos tradicionales y los propuestos como investigación.

Se trata así de contribuir a un mejor conocimiento de las causas de fracaso en la enseñanza de las Ciencias —y concretamente de la Física y Química— en un aspecto tan fundamental como los trabajos prácticos y de elaborar propuestas alternativas debidamente fundamentadas y validadas. Dicha tarea está orientada hacia el establecimiento de un nuevo paradigma de enseñanza/aprendizaje de las Ciencias que sustituya al de transmisión de conocimientos ya elaborados, o al de descubrimiento incidental, cuyas deficiencias han sido ya puestas reiteradamente de relieve.

5. Bibliografía

- CALATAYUD, L., FURIO, C. et al., 1980, *Trabajos Prácticos de Química como pequeñas investigaciones* (ICE. Universidad de Valencia).
- CALATAYUD, L. GIL, D. et al., 1979, *Trabajos Prácticos de Física como pequeñas investigaciones*. (ICE Universidad de Valencia).
- CHALMERS, A. F.: 1984, *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Editorial Siglo XXI: Madrid)
- GIL, D.: 1982, *La investigación en el aula de Física y Química*. Colección Técnicas Didácticas. (Anaya: Madrid).

GIL, D.: 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, pp 26-33.

GIL, D. y CARRASCOSA, J.: 1985, Science Learning as a Conceptual and Methodological Change, *European J. of Science Education*, vol. 7, N° 3 (en prensa).

GIL, D. y PAYA, J.: 1984a, Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física. I. Un análisis crítico. *1ªs Jornadas de Investigación Didáctica en Física y Química*. (ICE. Universidad de Valencia).

GIL, D. y PAYA, J.: 1984b, Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física. II. Propuesta de reorientación. *las Jornadas de Investigación Didáctica en Física y Química*. (ICE Universidad de Valencia).

HEMPEL, C. G.: 1976, *Filosofía de la ciencia natural* (Alianza: Madrid).

PADILLA, M. J. OKEY, J. R. y GARRARD, K.: 1984, The effects of instruction on integrated science process skill achievement, *Journal of Research in Science Teaching*, 21, pp 277-287.

TAMIR, P.: 1983, Inquiry and the Science Teacher, *Science Education*, 67, pp 657-672.

PAYA, J.: 1983, Los trabajos prácticos de Física y de Química. Una selección bibliográfica, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, pp. 131-132.

YAGER, R. E. y PENICK, J. E.: 1983, Analisis of the current problems with school science in the Unites States of America, *European J. of Science Education*, vol. 5, pp. 463-469.

Setiembre, 1985.