

# Transformación de las prácticas de laboratorio de química en actividades de resolución de problemas de interés profesional

Furió C.,<sup>1</sup> Valdés P.,<sup>2</sup> González de la Barrera, L. G.<sup>1</sup>

## Introducción

Muchos profesores universitarios atribuyen los fallos del proceso de enseñanza-aprendizaje a una falta de esfuerzo de los estudiantes o a los errores que suelen cometer en la aplicación de los conceptos. Otra corriente de opinión minoritaria cree que no se trata de un simple problema de responsabilidad de los estudiantes sino que, de algún modo, están involucrados los planteamientos didácticos que los profesores utilizamos. Algunos de estos docentes consideran que estos pobres resultados se producen a pesar del notable esfuerzo que muchos de sus estudiantes dedican al estudio de la materia. No es de extrañar, pues, la especial preocupación que existe por el papel que están desempeñando las prácticas de laboratorio, consideradas uno de los elementos centrales de la enseñanza de las ciencias, y a las que muchos centros docentes dedican una cuota importante de su presupuesto (Séré, 2002; Hofstein y Lunetta, 2004).

Las investigaciones sobre las prácticas de laboratorio han adquirido en los últimos años un gran impulso (Hodson, 1994; Séré, 2002) y han generado un amplio consenso en torno a su orientación como actividad investigativa (Gil *et al.*, 1991; González, 1992 y 1994; Hodson, 1992 y 1993; Tamir y García, 1992; Watson, 1994; Salinas, 1994; Gil y Valdés 1996; González de la Barrera, 2003). Ha contribuido a ello la comprensión de que la atención casi exclusiva a las preconcepciones de los estudiantes, que se produjo durante la década de los 80, supone un grave reduccionismo conceptual del proceso de aprendizaje. Hoy es ampliamente reconocido que la construcción de conocimientos científicos tiene exigencias no sólo conceptuales, sino también metodológicas, epistemológicas y axiológicas a las que es preciso prestar atención explícita (Gil y Carrascosa, 1985; Hashweh, 1986; Duschl y Gitomer, 1991; Hodson,

1992). Lo anterior ha proporcionado un nuevo sentido e interés a las investigaciones sobre las prácticas de laboratorio, provocando su reorientación para que dejen de ser meras ilustraciones de los conocimientos transmitidos y se conviertan en actividades de investigación (Gil 1996; Campanario y Moya, 1999; Cudmani, *et al.*, 2000).

En este trabajo se presenta un breve análisis crítico de cómo se orientan habitualmente las prácticas de laboratorio de Química en la educación universitaria y luego se realiza una propuesta alternativa más acorde con lo que es la actividad científica, cuyo punto de partida es el planteamiento de problemas de interés para los estudiantes. Esta propuesta se ilustra tomando como ejemplo el problema de la valoración de la acidez del vinagre comercial.

## ¿Cómo se realizan habitualmente las prácticas de laboratorio en la universidad?

El ámbito universitario, al que hacemos referencia en este trabajo, presenta potencialidades favorables a una orientación investigativa de las prácticas de laboratorio de química. Como se trata del nivel universitario y en particular de carreras donde se forman ingenieros, licenciados, etc., los profesores son profesionales del área científico-tecnológica y, también, investigadores. Están, por tanto, en condiciones de transferir a la docencia sus vivencias de las características del trabajo científico. Los estudiantes, por su parte, han elegido el estudio de las ciencias y la tecnología y, por lo general, llegan a la universidad con la idea de que los laboratorios constituyen una suerte de asignatura pendiente en su formación, de ahí que suelen estar fuertemente motivados hacia las prácticas de laboratorio.

En la Universidad, a diferencia de lo que sucede en la enseñanza secundaria, donde las prácticas de laboratorio son muy valoradas pero escasamente realizadas, hay laboratorios y se hacen prácticas. Además, los profesores universitarios que han de dirigirlos disponen de hemerotecas y textos a los que podrían recurrir en búsqueda de ideas innovadoras, de diagnósticos capaces de guiar su labor docente o,

<sup>1</sup> Universitat de València, España.

<sup>2</sup> Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba.

simplemente, de conocer nuevos modelos teóricos de enseñanza-aprendizaje. Ahora bien, en la realidad estas expectativas generalmente no se concretan, existiendo una seria ruptura entre los criterios metodológicos que el profesor universitario utiliza en su investigación científica y aquellos otros que emplea en su práctica docente. Es, por tanto, lógico que la investigación didáctica encuentre en las prácticas de laboratorio convencionales una serie de carencias, que alejan a los estudiantes de un tratamiento científico de los problemas.

Las prácticas de laboratorio habitualmente se realizan desvinculadas de las restantes actividades de la disciplina según la opinión de muchos docentes e investigadores (Gil *et al.*, 1999; González de la Barrera, 2003). De hecho, en la mayor parte de las facultades de Química, las actividades de un curso se dividen en “teóricas” (conferencias), problemas y prácticas de laboratorio, y es en la articulación coherente de estas actividades donde precisamente los profesores intuyen la existencia de graves problemas didácticos (Beltrán, 1991; Gil *et al.*, 1999).

Además, existen trabajos de investigación referidos a las prácticas de laboratorio de Química, que plantean su pobre contribución a la construcción de conocimientos científicos, la adquisición de destrezas en los estudiantes y la formación de actitudes positivas en ellos (Johnstone & Letton, 1990; Maester & Maskiel, 1993).

Otros trabajos ponen de manifiesto la evolución de las actitudes de los estudiantes hacia el laboratorio de Química General, en el primer año de la universidad. Así, se señala que los estudiantes tienen una actitud global positiva hacia las prácticas de laboratorio de Química General, pero negativas en cuanto a la organización de las mismas y el material presentado. Muy en particular, critican de forma generalizada el hecho de tener que seguir las guías de prácticas como si fueran “recetas de cocina” (Insausti, 1997).

En las universidades, tradicionalmente las prácticas de laboratorio son actividades donde el alumno va a realizar determinados experimentos con el fin de comprobar teorías, conceptos o leyes que anteriormente les ha comunicado el profesor en sus clases teóricas (Salinas, 1994). Los resultados de las investigaciones muestran que, en muchos casos, los estudiantes realizan los experimentos sin tener una idea clara acerca de lo que están haciendo ni lo que se persigue en esos experimentos.

Investigaciones recientes han puesto en eviden-

cia que los profesores de universidad y de secundaria tenemos visiones deformadas de la actividad científica (Fernández *et al.*, 2002), mismas que influyen negativamente en la enseñanza de las ciencias y que se transmiten implícitamente, en particular, a través de las prácticas de laboratorio. Hay que salir al paso de esta imagen deformada de la naturaleza de la ciencia y transformar las prácticas de laboratorio introduciendo aquellos aspectos epistemológicos que, según los resultados de la investigación didáctica, se han de tener en cuenta para favorecer la (re)construcción de conocimientos científicos.

### **La integración teoría-práctica. Prerrequisito epistemológico en la enseñanza-aprendizaje como investigación orientada**

Recordemos que en la década de los 80 fueron realizadas serias críticas al movimiento del “aprendizaje por descubrimiento” (Ausubel, 1978; Gil, 1983; Yager y Penick, 1983; Hodson, 1985 y 1986) en las que se resaltaban algunas de las principales visiones distorsionadas de la actividad científica que transmitían las innovaciones educativas inspiradas en aquel movimiento. Superar esas visiones deformadas requiere que el pensamiento docente espontáneo sobre la epistemología científica sea criticado por el propio profesorado, a lo cual puede contribuir el debate de las características fundamentales de lo que es una investigación científica. Muchas de las críticas efectuadas a la enseñanza de las ciencias en aquella época siguen teniendo actualidad y han sido apoyadas por una abundante literatura, como veremos a continuación:

- Se vio que era y es frecuente encontrar en el profesorado y el alumnado concepciones sobre la naturaleza de los procedimientos científicos marcadas por el empirismo y el inductivismo. Tales concepciones han sido adquiridas por im-pregnación ambiental e ignoran las aportaciones recientes de la filosofía y epistemología de la ciencia (Rowell y Cawthron, 1982; Ogunniyi y Pelia, 1980; Gil, 1983 y 1986; Millar y Driver, 1987; Fernández, 2000).
- Estas visiones deformadas de la actividad científica infravaloran la creatividad del trabajo científico, llevando a los alumnos a pensar que la ciencia consiste en verdades incontrovertibles (Rubba, Horner y Smith, 1981) e introduciendo rigidez e intolerancia contra las opiniones “desviacionistas”.
- El llamado “aprendizaje por descubrimiento”,

que ponía el acento en la experiencia directa (en el “descubrir por sí mismo”) y en el uso de términos tales como observación, experimento e investigación, constituía, en esencia, un modelo de aprendizaje basado en aquellas concepciones empiro-inductivistas de la metodología científica (Ausubel, 1978; Brandon, 1981; Wellington, 1982; Summers, 1982; Gil, 1983). Visiones en las que faltan, absolutamente, aspectos clave de las investigaciones, como la emisión de hipótesis o el diseño de experimentos (Payá, 1991), aspectos que ni siquiera aparecían entre los objetivos de las prácticas de laboratorio (Swain, 1984).

- La investigación del pensamiento docente espontáneo sobre la naturaleza de la ciencia y su relación con la enseñanza-aprendizaje se ha convertido en una de las líneas de investigación que más está contribuyendo a la renovación de la enseñanza de las Ciencias. Sus resultados han permitido cuestionar las visiones deformadas de la ciencia, transmitidas, muchas veces, de forma implícita (Gil *et al.*, 1991; Désautels *et al.*, 1993; Hodson, 1993; Meichstry, 1993; Porlán, 1993; Gil y Pessoa, 1994; Praia y Cachapuz, 1994; Duschl, 1995; Porlán y Martín, 1996).

Esta crítica a las concepciones epistemológicas del profesorado sobre la ciencia se extiende a otras deformaciones igualmente comunes (Gil, 1993 y 1996) que, por acción u omisión, transmite la enseñanza como puede ser, por ejemplo, la visión socialmente descontextualizada de la ciencia y la tecnología que ha mostrado el movimiento CTSA (Fernández *et al.*, 2002; Gil, 2002; Furió *et al.*, 2002).

La estrategia de enseñanza que nos parece más coherente con la orientación constructivista y con las características de la actividad científica, es la que plantea el aprendizaje como tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés, lo que se ha dado en llamar el “modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida” (Gil, 1993).

La idea de que el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias se desarrollen como un proceso de (re) construcción de conocimientos en un contexto *que se inspire* (dentro de lo posible en cada nivel) en el de la investigación científica es compartida por un amplio abanico de investigadores en didáctica de las ciencias y muchas de las recientes propuestas curriculares han hecho suya esta orientación (Gil y Vilches, 2002). Es por ello que los National Science Education Stand-

ards, auspiciados por el National Research Council (1996), proclaman que “*en todos los niveles, la educación científica debe basarse en la metodología de la investigación*”, como forma de favorecer tanto una actividad significativa en torno a problemas susceptibles de interesar a los estudiantes, como su progresiva autonomía de juicio y capacidad de participación en tareas colectivas.

Como señalan Martínez Torregrosa *et al.*, (2003), “investigar” o, utilizando otras terminologías próximas, “indagar” (Díaz y Jiménez, 1999) o “construir modelos” (Pozo, 1999), suministra oportunidades idóneas para plantear y precisar problemas, discutir su relevancia, tomar decisiones que permitan avanzar, formular soluciones de manera tentativa, ponerlas a prueba dentro de una estructura lógica general, etcétera. En otras palabras, es una forma de aprendizaje profundo que consiste en enfrentarse a situaciones problemáticas y elaborar posibles soluciones a modo de tentativas, lo cual exige el desarrollo de procesos de justificaciones individuales y colectivas, que forman parte de las estrategias científicas. En este modelo el aprendizaje de la ciencia es concebido como un cambio conceptual, metodológico y actitudinal (Duschl y Gitomer, 1991).

Es sabido que no existe ‘el método científico’ si, por tal, se entiende que es un conjunto de normas rígidas que se cumplen en una investigación científica. Pero ello no significa que no existan criterios generales de lo que son los modos de proceder de la ciencia. En la figura 1 se presenta en forma de diagrama una representación de lo que puede ser una investigación científica como proceso abierto y sin normas fijas ni rígidas (Gil, 1993) del cual podemos extraer los principales aspectos que deberían reunir las estrategias didácticas si queremos que los estudiantes se familiaricen con los procedimientos de la ciencia.

Las investigaciones realizadas en torno al aprendizaje de “los conceptos”, “los problemas” (de lápiz y papel) y “las prácticas de laboratorio” han mostrado que la casi total separación que la enseñanza habitual introduce entre las mismas (hasta el punto de que en el nivel universitario estas actividades son impartidas, a menudo, por diferentes profesores) carece de sentido epistemológico y ha de dejar paso a su integración en un proceso único de aprendizaje (Gil *et al.*, 1999). Es obvio que esta integración teoría-práctica tiene dificultades estructurales en la organización escolar universitaria. No obstante, por ahora se pueden ir transformando las prácticas convencionales de laboratorio en el tratamiento de situa-

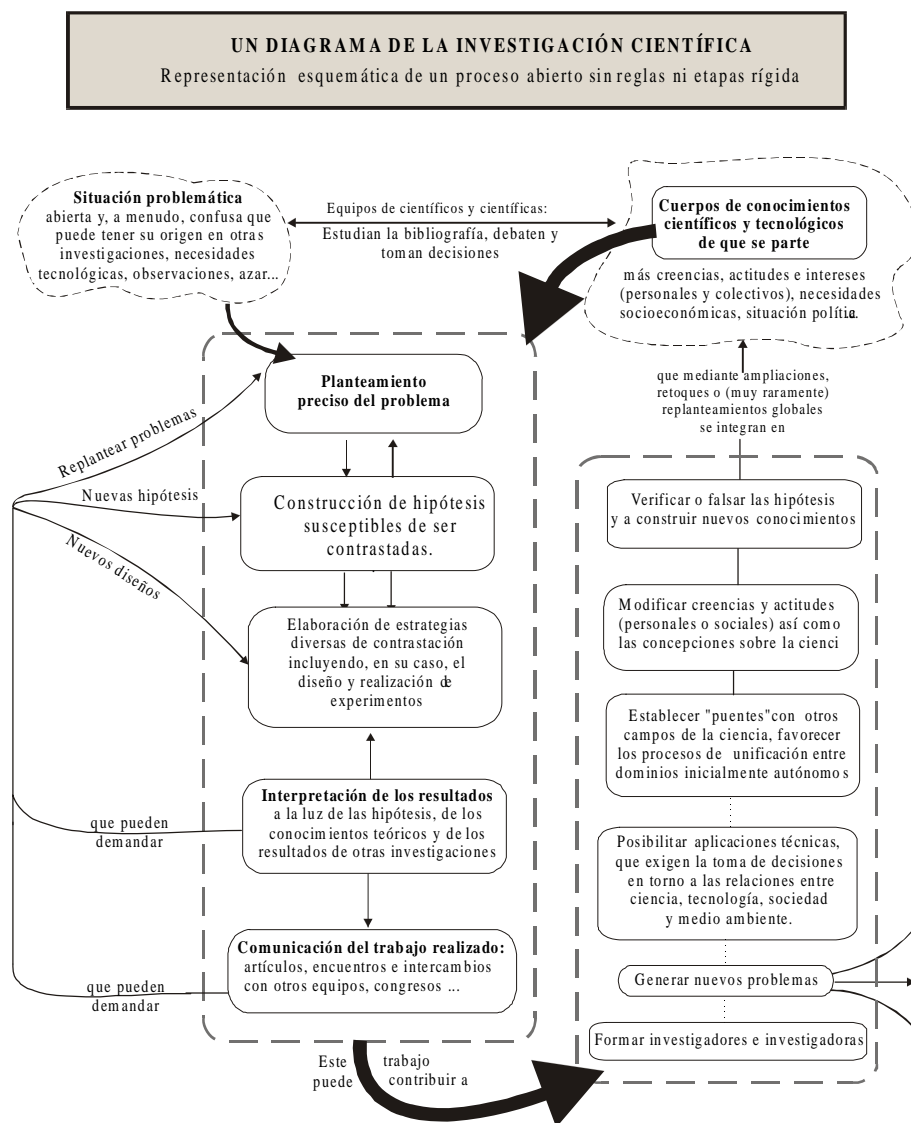


Figura 1.

ciones problemáticas de interés profesional, saliendo al paso de las visiones deformadas de la ciencia que ha detectado la literatura y familiarizando a los estudiantes con lo que es una investigación. Como indica Hodson (1992b) “los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual y aprenden más acerca de la naturaleza de la ciencia *cuando participan en investigaciones científicas*, con tal de que haya suficientes oportunidades y apoyo para la reflexión”.

### ¿Cómo diseñar y desarrollar prácticas de laboratorio más coherentes con las características de la actividad científica?

Sabemos que no es fácil el diseño de materiales

curriculares de calidad y es especialmente laborioso cuando se quiere transformar prácticas de laboratorio tipo ejercicio, en actividades investigativas con un mayor grado de apertura (Tamir y García, 1992; Caamaño, 1992). Esto es una tarea que requiere tiempo, una contribución de diversos aportes, un amplio debate sobre los fundamentos y objetivos que se persiguen, un seguimiento, apoyo institucional, etcétera.

Las propuestas de aproximar el aprendizaje de las ciencias a una investigación orientada han sido expresadas de una u otra forma por numerosos autores, y aparecen como fruto esencial de la investigación en didáctica de las ciencias, tal como reflejan

un sinnfín de trabajos citados en los diversos *handbooks* publicados (Gabel, 1994; Frasersy Tobin, 1998; Perales y Cañal, 2000).

Maiztegui *et al.* (2002) proponen plantear el aprendizaje de las ciencias como un trabajo de “investigación y de innovación” (o, como suele expresarse, de “investigación y desarrollo”) a través del tratamiento de situaciones problemáticas relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de

satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor, que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos y que debería incluir toda una serie de aspectos que son coherentes con el proceso de investigación, aspectos que se enumeran en el cuadro 1 (Gil, 1996).

Como puede verse, estos aspectos están concebidos desde un punto de vista mucho más general que el de las prácticas de laboratorio y pueden ser útiles para el

**Cuadro 1.** Aspectos a tener en cuenta en un currículo de ciencias para favorecer la construcción de conocimientos científicos.

- 1) Presentar situaciones problemáticas abiertas (con objeto de que los alumnos puedan tomar decisiones para precisarlas) de un nivel de dificultad adecuado (correspondientes a su zona de desarrollo potencial).
- 2) Plantear una reflexión sobre el posible interés de las situaciones propuestas que dé sentido a su estudio (considerando su relación con el programa general de trabajo adoptado, las posibles implicaciones C TSA, etcétera). Prestar atención, en general, a potenciar las actitudes positivas y a que el trabajo se realice en un clima próximo a lo que es una investigación colectiva (situación en la que las opiniones, intereses, etcétera de cada individuo cuentan), y no en un clima de sometimiento a tareas impuestas por un profesor ‘capataz’.  
Procurar evitar toda discriminación (por razones étnicas, sociales ...) y, en particular, el uso de lenguaje sexista, transmisor de expectativas negativas hacia las mujeres.
- 3) Plantear un análisis cualitativo, significativo, que ayude a comprender y a acotar las situaciones planteadas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etcétera), y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca. Mostrar, por otra parte el papel esencial de las matemáticas como instrumento de investigación, que interviene desde la formulación misma de los problemas al análisis de los resultados, sin caer en operativismos sin sentido.
- 4) Plantear la emisión de hipótesis, fundamentadas en los conocimientos disponibles, susceptibles de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones. Prestar atención a las preconcepciones (contempladas como hipótesis)
- 5) Plantear la elaboración de estrategias, incluyendo, en su caso, diseños experimentales. Pedir, al menos, la evaluación crítica de algún diseño.  
Prestar atención a la actividad práctica en sí misma (montajes, medidas ...)  
Potenciar la incorporación de la tecnología actual a los diseños experimentales (electrónica, ordenadores, automatización...) con el objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad tecnocientífica contemporánea.
- 6) Plantear el análisis detenido de los resultados (su interpretación física, fiabilidad, etc.) a la luz del conocimiento disponible, de las hipótesis manejadas y/o de los resultados de otros autores.  
Plantear alguna reflexión sobre los posibles conflictos entre algunos resultados y las concepciones iniciales.  
Favorecer la “autorregulación” del trabajo de los alumnos.  
Promover que los estudiantes cotejen su evolución conceptual y metodológica con la experimentada históricamente por la comunidad científica.
- 7) Plantear la consideración de posibles perspectivas (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...)  
Considerar, en particular, las implicaciones C TSA del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas...)  
Pedir elaboración de “productos” (carteles, colecciones de objetos...).
- 8) Pedir un esfuerzo de integración que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, las posibles implicaciones en otros campos del conocimiento, etc. Solicitar algún trabajo de construcción de síntesis, mapas conceptuales, diagramas, etcétera que ponga en relación conocimientos diversos.
- 9) Plantear la realización de memorias científicas del trabajo realizado.  
Pedir lecturas y comentarios de textos científicos.  
Prestar atención a la verbalización, solicitando comentarios significativos que eviten el “operativismo mudo”.
- 10) Potenciar la dimensión colectiva del trabajo científico organizando pequeños equipos de trabajo y facilitando la interacción entre los equipos y la comunidad científica (representada en clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido, el profesor como experto).  
Hacer ver, en particular, que los resultados de una sola persona o de un solo equipo de trabajo no pueden bastar para verificar o no una hipótesis.  
Mostrar el cuerpo de conocimientos disponibles como la cristalización del trabajo realizado por la comunidad científica y la expresión del consenso alcanzado en un determinado momento.  
Prestar atención, en este sentido, a la actualización de los conocimientos que constituyan prerrequisitos del estudio emprendido.

desarrollo de programas diseñados para integrar actividades de muy diversa naturaleza (prácticas de laboratorio, resolución de problemas de lápiz y papel o introducción de conceptos).

Es por ello que necesitamos contar con estrategias que nos permitan reorientar las prácticas de laboratorio habituales, que nos faciliten alcanzar una mayor coherencia, una mayor eficacia y que permita un trabajo colectivo tal y como se mostró en el cuadro anterior.

Queremos destacar que dicha enumeración no debe hacer pensar en un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino

que constituye una llamada de atención sobre los aspectos esenciales en el trabajo científico y tecnológico que no son muy tenidos en cuenta en la enseñanza de las ciencias.

### **Ejemplo de programa de actividades para transformar una práctica de laboratorio en la resolución de un problema químico**

Para ello y a título de ejemplo se muestra en el cuadro 2 un programa de actividades de una conocida práctica de laboratorio que ha sido transformada de manera coherente con el modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación orientada.

#### **Cuadro 2.**

#### **PRÁCTICA DE LABORATORIO**

##### **Análisis de la acidez de un vinagre**

Todas las indicaciones que aparecen como comentarios son para dominio de los profesores. Las actividades que aparecen en letra negrita son las que se le proponen a los estudiantes, es por ello que en las guías que le entregamos al alumno aparecen solo estas actividades

##### **Introducción**

En la industria química, en los laboratorios, en las investigaciones científicas, así como en otras ramas, es necesario realizar análisis químicos y determinar con rigor la concentración de solutos que se encuentran constituyendo algunas disoluciones.

Para conocer con mucha precisión la concentración de una sustancia en una disolución se pueden emplear diferentes métodos de análisis clásicos, siendo uno de los más comunes el análisis volumétrico, el cual se utilizará en esta práctica de laboratorio. Posteriormente se profundizará este estudio en la asignatura "Análisis Químico".

##### **I.- De una situación problemática de interés a un problema químico precisado**

##### **A 1. Comentar qué es el vinagre, a qué se debe su acidez y por qué resulta de interés determinarla.**

**Comentarios A.1.-** El vinagre es un producto comercial conocido por los estudiantes ya que se emplea fundamentalmente en nuestros hogares en la condimentación de ensaladas y otros usos culinarios. Lo habitual es que se defina como una disolución acuosa de ácido acético. De hecho, si se aporta una o más botellas de este producto al laboratorio tal y como se expende en el comercio, se puede observar que en la etiqueta aparece reflejada la concentración del mismo. Si, además, buscan su definición en la legislación vigente encontrarán (en el caso español) la siguiente, dada por el Ministerio de Sanidad y Consumo en su publicación "Análisis de Alimentos" (Madrid, 1985): 'Líquido obtenido de la fermentación acética del vino puro o diluido o de piquetas de vino, con una riqueza mínima de 50 grados de ácido acético por litro'. De todos estos datos los estudiantes pudieran corroborar, equivocadamente, que la definición habitual es correcta. Sin embargo, se ha de considerar que el vinagre, debido a que normalmente se obtiene por fermentación acética del vino, es una disolución más compleja de ácidos y sales. En el vinagre hay ácidos volátiles como, por ejemplo, el acético y el sulfuroso y ácidos fijos como, por ejemplo, tartárico, cítrico, cítrico. También hay sales en solución en forma de sulfatos y cloruros principalmente. Por otra parte, para promocionar la venta del producto, a los vinagres comerciales también se les agregan colorantes, que les proporcionan un atrayente color acaramelado. Es cierto que de todas estas sustancias la que predomina es el ácido acético.

Con lo anterior se puede abrir un breve debate a fin de que los estudiantes reflexionen sobre la situación que se les presenta y encuentren sentido al estudio que realizarán, al percatarse de la importancia que tiene el análisis de las sustancias en su perfil profesional. Debe tenerse en cuenta que muchos de ellos deberán afrontar situaciones muy similares a la propuesta, cuando tengan que determinar con cierta precisión la concentración de una disolución, por ejemplo en los laboratorios de una industria o de un centro de investigación, así como valorar las implicaciones CTSA de la investigación que realizarán.

Una vez visto el interés que tiene el análisis químico de sustancias y, en particular, el que abordarán, se pasará a precisar más el problema. Éste es un proceso complejo que, muchas veces, llega a ser el que controla el avance en una investigación. Por eso será ésta una de las fases más complicadas durante la realización de prácticas como investigación.

##### **A2. - ¿Cómo se podría determinar si la concentración de ácido acético de una botella precintada de vinagre es la que realmente viene indicada en la etiqueta del frasco? Analizar cualitativamente esta situación problemática con el fin de precisar el problema, tomando para ello las decisiones que se consideren oportunas.**

**Comentarios A.2.-** En cuanto a las precisiones, suposiciones y decisiones que han de tomar los estudiantes para acotar la situación problemática 'abierta' y convertirla en un problema 'cerrado' (y, por tanto, solucionable) se pueden comentar, en particular, las siguientes:

... 

Una primera decisión a considerar en estos análisis es si lo que se va a valorar es solamente la acidez total o si, por el contrario, queremos analizar la acidez volátil y la fija. La acidez total se define como "la totalidad de los ácidos volátiles y fijos que contiene el vinagre expresada en gramos de ácido acético por 100 mL de vinagre". La determinación de la acidez total y la de la acidez fija de un vinagre se simplifican obteniendo la proporción equivalente de ácido acético que hay en cada caso. En un primer nivel introductorio de la Química, se puede decidir en el aula que solamente se va a analizar la acidez total del vinagre.

Otra cuestión a dilucidar consiste en estimar cuál puede ser el porcentaje habitual en peso del acético en el vinagre. Comentar estas estimaciones es del todo conveniente en el análisis químico con el fin de preparar las disoluciones de la muestra y de las sustancias patrones con las que vamos a valorar el ácido. Tal y como indicamos anteriormente, la normativa española establece que los vinagres comerciales contengan al menos una riqueza de cincuenta grados de ácido acético por litro, esto es, una proporción aproximada de ácido acético equivalente a un 5% del peso de la muestra. Si se tiene en cuenta que la masa molar del  $\text{CH}_3\text{COOH}$  es 60,053 g/mol, esto equivale a afirmar que las disoluciones comercializadas como vinagre deben tener una concentración aproximada de 0,8 M en ácido acético.

Se supondrá que la valoración del ácido es una reacción de neutralización en el contexto de la teoría de Arrhenius y que, por tanto, se necesitará tomar una base fuerte, como por ejemplo NaOH, cuya concentración sea bien conocida,  $c_b$ , es decir que habrá sido valorada recientemente con una sustancia estándar primaria como puede ser el ácido oxálico, o el ftalato ácido de sodio.

Dado que en este contexto la neutralización es la combinación de los iones  $\text{H}^+$  aportados por la disociación de las moléculas del ácido con los iones  $\text{OH}^-$  obtenidos en la disociación de las moléculas de la base, también intervendrán como variables las siguientes:  $X_a$  (moles de iones  $\text{H}^+$ /mol de moléculas de ácido) y  $X_b$  (moles de iones  $\text{OH}^-$ /mol de moléculas de base), así como los volúmenes de las muestras de ácido tomadas,  $V_a$ , y los volúmenes de base valorada que neutralizarán a aquellas muestras,  $V_b$ , ambas variables medidas en mL. Por tanto, tomando todas estas consideraciones en cuenta el problema puede quedar precisado y enunciado como sigue:

¿Cómo averiguar la concentración de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $c_a$ , de un vinagre comercial a partir de las variables consideradas importantes en el proceso de neutralización y, en particular, de la concentración de la base,  $c_b$ , que se ha elegido para su valoración y de los volúmenes de ácido y base utilizados hasta llegar a la total neutralización?

## II.-Formulación de hipótesis, elaboración de estrategias y de diseños experimentales que permitan ponerla a prueba.

### A 3. - Emitir una hipótesis fundamentada (y, en caso procedente, alguna consecuencia derivada de la hipótesis) que dé solución al problema planteado y que pueda ser contrastada experimentalmente.

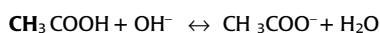
**Comentarios A.3.-** La idea básica será analizar la dependencia funcional de  $c_a = f(c_b, V_a, V_b, X_a, X_b)$ . Análisis funcional que se simplifica si son el  $\text{CH}_3\text{COOH}$  y el NaOH el ácido y la base respectivamente usados en esta neutralización, con lo que  $X_a$  y  $X_b$  serán iguales a 1. Este análisis conducirá fácilmente (utilizando el esquema de control de variables y el estudio de casos límite) a la expresión "intuitiva":  $c_a = c_b \cdot V_b / V_a$ . Expresión con la que contrastaremos la solución que obtengamos al llevar a cabo estrategias fundamentadas teóricamente como se abordará en la siguiente actividad.

### A4. Elaborar alguna estrategia que basándose en los conocimientos teóricos sobre la neutralización nos permita dar solución al problema planteado.

**Comentarios A.4.-** Tomando en consideración el cuerpo teórico de conocimientos sobre la neutralización de un ácido por una base, los alumnos llegan fácilmente a la idea fundamental en la que se basan las estrategias de resolución en este caso. Esta idea consiste en saber que la cantidad de iones  $\text{H}^+$  proporcionados por el ácido,  $N(\text{H}^+)$ , ha de ser exactamente igual a la cantidad de iones  $\text{OH}^-$  aportados por la base,  $N(\text{OH}^-)$ , cuando se llega al punto de neutralización. Al pasar al nivel macroscópico, ello implica que la cantidad de sustancia de protones,  $n(\text{H}^+)$ , será igual a la cantidad de sustancia de iones hidroxilos,  $n(\text{OH}^-)$ . A partir de esta última igualdad se relacionarán el primer y segundo miembros de la misma con las magnitudes que interesa introducir ( $c_a \cdot V_a = c_b \cdot V_b$ ). Y a partir de la misma se obtiene la incógnita buscada  $c_a$ . A continuación se podrá contrastar la solución encontrada con el resultado de A.3 a fin de comprobar si son coherentes. Se puede, por tanto, pasar a realizar algún diseño experimental.

### A5. Diseñar con detalle un experimento que permita determinar con precisión la concentración total de ácido, valorado como $\text{CH}_3\text{COOH}$ , que tendrá el vinagre comercial considerado.

**Comentarios A.5.-** Habrá que profundizar en aquellos aspectos técnicos que no se han tratado anteriormente. En particular, se darán soluciones a detalles como los siguientes: ¿qué procedimiento seguir para esta valoración?, ¿tomamos muestras directamente del vinagre comercial o lo diluimos?, ¿es suficiente con la valoración de una muestra?, ¿qué poner en la bureta, el ácido o la base? o ¿cómo saber cuando ha terminado la neutralización? Al tratarse de una valoración de un ácido débil con una base fuerte, ¿qué indicador será más conveniente tomar?, etcétera. En esta última pregunta conviene tener presente las dificultades de los estudiantes, pues consideran que, en general, el pH después de una neutralización entre un ácido y una base es siempre 7. Hay que tener en cuenta que la reacción de neutralización es incompleta debido a que el ácido es débil y se alcanza un estado del equilibrio ácido débil-base fuerte donde coexisten moléculas de ácido sin disociar y iones acetato según el esquema siguiente:



...

En resumen, en el punto de equivalencia la disolución no tendrá  $\text{pH}=7$ , sino que será básica. Por tanto, para detectar el punto final de esta valoración habrá que elegir un indicador que vire de color a  $\text{pH}$  mayor de 7 como, por ejemplo, podría ser la fenoftaleína. Sobre este asunto se puede plantear una discusión sobre qué indicador elegir, de modo que se vea la necesidad de relacionar la  $K_a$  del ácido débil que se está neutralizando y la correspondiente  $K_b$  del indicador seleccionado.

### III. Realización del experimento

#### A6. Realizar el experimento diseñado y recoger los datos pertinentes.

**Comentarios A.6.** Aquí el profesor deberá estar atento para ayudar a que los estudiantes tomen las precauciones debidas. Es probable que se presenten dificultades de tipo manipulativo, también importantes, como, por ejemplo, en la manera correcta de enrasar pipetas y buretas, así como en la manera adecuada de manejar estos útiles, siempre dejándolos proceder de la forma en que concibieron su diseño, pero orientándolos cuando sea preciso.

### IV. Presentación y análisis de resultados

#### A7. Presentar y analizar los resultados obtenidos en la actividad anterior.

**Comentarios A.7.** Para dar cumplimiento a esta actividad los alumnos han de tabular las medidas realizadas. Presentarán los cálculos correspondientes en los que se apoyaron para determinar la concentración promediada de ácido en las muestras de vinagre. Podrán, finalmente, comparar sus resultados con el que indicaba la etiqueta del frasco. En caso de que sus resultados difieran mucho de los que esperaban, analizarán los posibles errores en que incurrieron y qué les ha llevado a tales resultados.

### V. Conclusiones y nuevas perspectivas

#### A8. Comparar los resultados obtenidos con los de otros equipos, señalando a qué conclusiones han llegado. Sugerir posibles perspectivas de futuras investigaciones relacionadas con el análisis realizado.

**Comentarios A.8.-** Para dar cumplimiento a esta actividad los estudiantes intercambiarán entre ellos sus resultados y conclusiones. Podrán ver si son o no convergentes e, incluso, dar algunas sugerencias que ellos consideren favorecerá el mejor desarrollo de la actividad. Por ejemplo, pudieran sugerir el seguimiento del proceso de neutralización midiendo el  $\text{pH}$  o la conductividad de la disolución después de cada adición controlada de base y así observar el punto de neutralización sin necesidad de indicador. Pueden proponer la realización de otras investigaciones relacionadas como, por ejemplo, determinar también la acidez fija del vinagre. Para ello han de profundizar en el diseño y, en particular, debatir cómo eliminar los ácidos volátiles para valorar la acidez residual. También son posibles trabajos de relación CTSA ligados al comportamiento ácido – base, digamos por ejemplo investigar los efectos de la lluvia ácida en las aguas de algún embalse o río cerca de donde están ubicados la universidad o sus hogares.

### VI. Elaboración de una memoria de la práctica realizada

#### A9. Elaborar una memoria o informe del trabajo práctico realizado incluyendo las actividades propuestas y los resultados obtenidos en cada una. En particular, conviene que se incluya una valoración comparativa entre esta práctica y las habituales, así como de aquellos otros aspectos que puedan mejorar el procedimiento seguido en la realización de la práctica.

**Comentarios A.9.-** Con esta actividad lo que se pretende es que los estudiantes puedan establecer una comparación entre la forma en que han procedido durante la realización de esta práctica de laboratorio y la manera en que habitualmente ellos realizaban las mismas. Es conveniente que en la memoria consten los diseños elaborados y empleados, las expresiones en que se apoyaron para la realización de los cálculos correspondientes y lo que les resultó más interesante, así como algún aspecto que consideren negativo. Como se trata de una actividad abierta, el profesor tendrá en cuenta los criterios de los estudiantes con vistas a mejorar la misma en futuros cursos.

## Conclusiones

En este trabajo se ha fundamentado la necesidad de reorientar las actividades de laboratorio que habitualmente se realizan en la enseñanza universitaria de la Química, a fin de tener en cuenta las características de la actividad científica. Ello requiere, ante todo, salir al paso de visiones deformadas de la ciencia que se suelen transmitir implícitamente a través de los formatos de las guías de prácticas de laboratorio y de su realización. En este sentido, se ha hecho un análisis crítico de cómo se orientan habitualmente las prácticas, donde predomina la idea de que su principal finalidad consiste, aparte de desarrollar

habilidades manipulativas, en ilustrar o comprobar los conceptos y teorías ya expuestos anteriormente. Por otra parte, se sabe que, en el ámbito universitario, las clases de resolución de problemas de lápiz y papel suelen tener como función básica la de “aplicar” los conocimientos teóricos introducidos en las clases teóricas. Se refrenda así la separación (que conlleva necesariamente cierta desconexión) entre las prácticas, las clases “teóricas” y las de resolución de problemas. El resultado es un tipo de prácticas de laboratorio desvinculada de la teoría y alejada de lo que es el trabajo científico.

Se considera en el trabajo que la integración de



la teoría y de la práctica es un requisito epistemológico necesario, si se quiere que los futuros químicos se familiaricen con aspectos esenciales de la actividad científica como pueden ser el análisis de situaciones problemáticas y el planteamiento de problemas precisados, la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias que orienten su solución o la realización de diseños experimentales que permitan poner a prueba las hipótesis emitidas. En consecuencia, se muestra la necesidad de ir transformando la realización de las prácticas habituales en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas y de interés para los estudiantes, es decir, en la resolución de problemas donde los estudiantes vayan adquiriendo habilidades y destrezas semejantes a las que se usan en una investigación.

Finalmente, y a título de ejemplo, se presenta transformada una práctica habitual, relativa a la acidimetría de un vinagre. Dicha práctica se estructuró en forma de programa de actividades, a partir de una situación problemática de interés para los futuros químicos. Esta práctica, junto a otras, ha sido ensayada durante varios años con estudiantes de Química de los primeros cursos universitarios y sus resultados han sido prometedores (González de la Barrera, 2003). ▀

### Referencias bibliográficas

- Ausubel, D. P. (1978): *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas: México.
- Beltrán, N.I. (1991): Algunas consideraciones sobre un programa para la asignatura Química General, *Revista Cubana de Educación Superior*, **XI** (1-2), 45-56.
- Brandon, E.P., Logic in the laboratory, *School Science Review*, **62**, 762-765, 1981.
- Caamaño, A., (1992): Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula*, **9**, 61-68.
- Campanario, J. M. y Moya, A. (1999): ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, **18** (1): 179-192
- Cudmani, L., *et al.* (2000): Hacia un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, **18** (1), 3-13.
- Désautels J., Larochelle M., Gagné B. y Ruel F. (1993): La formation à l'enseignemnt des sciences: le virage épistémologique, *Didaskalia*, **1**, 49-67.
- Díaz, J. y Jiménez, M.P. (1999): Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique*, **20**, 9-16.
- Duschl, R. y Gitomer, D., (1991): Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, **28** (9), 839-858.
- Duschl, R., (1995): Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual, *Enseñanza de las Ciencias*, **13** (1), 3-14.
- Fernández, E.I. (2000): *Análisis de las Concepciones Docentes sobre la Actividad Científica: Una Propuesta de Transformación*. Tesis doctoral. Universitat de Valencia.
- Fernández, E.I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. & Praia, J. (2002): Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, **20**(3), 477-488.
- Fraser, B. y Tobin, K.G. (eds.) (1998): *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Furió, C., Vilches, A., Guisasaola, J., Romo, V., (2002): Spanish teachers' views of the goals of Science Education in Secondary Education. *Research in Science & Technological Education*, **20** (1), 39-52.
- Gabel, D.L., (ed.) (1994): *Handbooks of Research on Science Teaching and Learning*. New York, Macmillan Pub. Co.
- Gil, D., (1983): Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, **1** (1), 26-33.
- Gil, D., (1986): La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, **4** (2), 111-121.
- Gil, D., (1993): Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, **11** (2), 154-164.
- Gil D., (1996): New trends in Science Education, *International Journal of Science Education*, **18** (8), 889-901.
- Gil, D., (2002): La situación de la Educación Científica: Problemas, Avances y Nuevas Necesidades. Educacao em Ciencias. *Actas do VII Encontro Nacional*. Universidad de Algarve. 16-27.
- Gil, D. y Carrascosa, J., (1985): Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, **7** (3), 231-236.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C., y MartínezTorregosa, J., (1991): *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, Horsorice de la Universitat de Barcelona.
- Gil, D., Furió, C. *et al.*, (1999): ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, **17** (2) 311-320.
- Gil, D., y Pessoa, A., (1994): *Formación del profesorado de Ciencias*, Editorial Popular: Madrid.
- Gil-Pérez, D. y Valdés Castro, P., (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, **14** (2), 155-163.
- Gil, D., y Vilches, A. (2002): *La relación secundaria-universidad: mitos y realidades. Relación secundaria universidad*. XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La Laguna, septiembre, 2002.
- González de la Barrera, LG (2003): *Las prácticas de Laboratorio de Química en la Enseñanza Universitaria. Análisis crítico y propuesta de mejora basada en la enseñanza-aprendizaje por investigación orientada*. Tesis Doctoral: Departament de Didáctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- González, E., (1992): ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, **10** (2), 206-211.
- González, E., (1994): *Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de física*. Tesis doctoral: Departament de Didáctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- Hashweh, M.Z., (1986): Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, **3**(4), 383-396.

- Hodson, D., (1985): Philosophy of science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- Hodson, D., (1986): The nature of scientific observation. *The School Science Review*, 68 (242), 17-29.
- Hodson, D., (1992): In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education, *International Journal of Science Education*, 14 (5), 541-566.
- Hodson, D., (1992b): Assessment of practical work: some considerations in Philosophy of Science. *Science & Education*, 1, 115-144.
- Hodson, D., (1993): In Search of a Rationale for Multicultural Science Education. *Science Education*, 77 (6), 585-711.
- Hodson, D., (1994): Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Hofstein, A. y Lunetta, V.N., (2004): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Insausti M.J., (1997): Análisis de los Trabajos Prácticos de Química General en un primer curso de Universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), 123-130.
- Johnstone A. H. y Lepton, K. M., (1990): Investigating undergraduate laboratory work. *Education in Chemistry*, 9-11.
- Maester, A., Maskiel R., (1993): First Year Practical Classes in Undergraduate Chemistry Courses in England and Gales, *Education in Chemistry*, 11, 156-159.
- Maiztegui, A., et al., (2002): Papel de la Tecnología en la Educación Científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, enero-abril, 129-153.
- Martínez Torregrosa J., Gil Pérez D. y Bernat Martínez S. (2003). La universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje como investigación orientada. En: Monereo C. y Pozo J. I. (eds.): *La universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía* Madrid: Editorial Síntesis, SA.
- Meichstey Y., (1993): The impact of science curricula on students views about the nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (5), 429-443.
- Millar R y Driver R, (1987): Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C. National Academy Press.
- Ogunniyi, M.B., y Pelia, M.O., (1980): Conceptualizations of scientific concepts, laws and theories held by Kware State, Nigeria, secondary school science teachers, *Science Education*, 64, 591-599.
- Payá, J., (1991): *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y la química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis doctoral: Departament de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universitat de Valencia.
- Perales, F. J. y Cañal, P., (2000): Didáctica de las Ciencias Experimentales. Ed. Marfil: Alcoy.
- Porlán R., (1993): *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Diada: Sevilla.
- Porlán, R. y Martín R., (1996): Ciencia, profesores y enseñanza: unas relaciones complejas, *Alambique*, 8, 23-32.
- Pozo, J.I. (1999): Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional, *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 513-520.
- Praia J. y Cachapuz F., (1994): Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 350-354.
- Rowell, J.A. y Cawthron, E.R., (1982): Images of science: an empirical study, *European Journal of Science Education*, 4, 1-10
- Rubba, P.A., Horner, J.K., y Smith, J.M., (1981): A study of two misconceptions about the nature of science among junior high school students, *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 221-226.
- Salinas, J. (1994): *Las Prácticas de Física Básica en Laboratorios Universitarios*. Tesis Doctoral: Departament de Didáctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- Séré, M. G., (2002): Towards Renewed Research Questions from the Outcomes of the European Project Labwork in Science Education. *Science Education*, 86, 624-644.
- Summers, M.K., (1982): Philosophy of science in the science teacher education curriculum, *European Journal of Science Education*, 4, 19-28.
- Swain, J.L., (1984): Practical objectives. A review, *Education in Chemistry*, September, 152-154, 156.
- Tamir, P. y García, M., (1992): Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (19), 3-12.
- Watson, J. (1994): Diseño y realización de investigaciones en las clases de ciencias. *Alambique*, 2, 57-65.
- Wellington, J.J., (1982): What's supposed to happen, Sir?: Some problems with discovery learning, *School Science Review*, 63, 167-173.
- Yager, R.E y Penick, J.E., (1983): Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 459-463.