

LOS EXPERIMENTOS QUE PLANTEAN PROBLEMAS EN LAS AULAS DE QUÍMICA: DILEMAS Y SOLUCIONES

DE JONG, O.

Utrecht University. CSME, Department of Chemical Education. Princetonplein, 5, 3584 CC Utrecht. The Netherlands. Fax +31 30 2537494. E-mail O. de Jong chem.ruu.nl

SUMMARY

The importance of classroom experiments in school science curricula is accepted generally. Nevertheless, a broad variety of difficulties in laboratory teaching as well as difficulties in learning from practical experiences is reported. In this contribution, laboratory work in secondary school science is considered from a «constructivist» perspective. From this perspective, a particular kind of school science experiment, so-called problem-posing experiment, is described. Chemistry teachers' experiences of these experiments are reported. A number of dilemmas (and resolutions) in using problem-posing experiments is discussed.

INTRODUCCIÓN

En muchos países europeos, además de en EEUU en los años sesenta, ha empezado una reforma en el currículo de ciencias, que incorpora un creciente interés en el desarrollo de cursos para centros de secundaria orientados hacia el laboratorio. La tendencia de prestar atención a los trabajos prácticos en la ciencia escolar fue provocada por varios factores, tanto políticos como educativos. Un importante factor político fue la reacción del público al lanzamiento del satélite Sputnik en 1957. Este acontecimiento hizo mucho más urgente la necesidad de mejorar la calidad de los currículos de ciencias existentes. Un importante factor educativo fue la conciencia emergente de que la educación científica no sólo debería centrarse en los conceptos y las leyes, sino también en la naturaleza de la ciencia: una disciplina empírica donde los experimentos juegan un papel crucial. Además, se consideraba que la realización de trabajos prácticos en la ciencia escolar contribuía a llenar el vacío entre la educación secundaria y universitaria.

Hasta ahora, ha sido generalmente aceptada la idea de incluir los experimentos en el aula en los currículos de ciencia escolar. A menudo, los experimentos de los estudiantes se toman muy en serio, y no es inusual que se califique formalmente la habilidad de los estudiantes para realizar los experimentos. En algunos países, por ejemplo Holanda, la evaluación de los trabajos prácticos incluso forma parte de los exámenes finales.

Durante las últimas dos décadas, la justificación de la presencia de trabajos prácticos en los currículos está mucho más elaborada. En una visión global extensiva de la bibliografía de investigación sobre la enseñanza de la ciencia orientada hacia el laboratorio, Lazarowitz y Tamir (1994) presentan una fundamentación representativa para los trabajos de los estudiantes en el laboratorio. En la tabla I se muestra un resumen de esta fundamentación, en términos de un conjunto de objetivos.

Tabla I
Una fundamentación para los trabajos de los estudiantes en el laboratorio en términos de un conjunto de objetivos.

<p>1. Facilitar la comprensión de los conceptos científicos y ayudar a los estudiantes a confrontar sus concepciones actuales.</p> <p>2. Fomentar el desarrollo de habilidades cognitivas, tales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la toma de decisiones.</p> <p>3. Desarrollar las habilidades prácticas, tales como las destrezas manipulativas e investigadoras.</p> <p>4. Fomentar la comprensión de la naturaleza de la ciencia, por ejemplo, la empresa científica, y la gran diversidad de métodos científicos.</p> <p>5. Fomentar la comprensión de los conceptos subyacentes a la investigación científica, tales como la definición de un problema científico y una hipótesis.</p> <p>6. Desarrollar actitudes científicas, tales como la objetividad y la curiosidad, en la ciencia.</p> <p>7. Suscitar el placer y el interés, también en el estudio de las ciencias.</p>

La enseñanza de temas de ciencia escolar que impliquen el uso de los experimentos no significa que se logran automáticamente los objetivos en el laboratorio (como se describen en la tabla I). En su visión global, Lazarowitz y Tamir (1994) también presentan una amplia variedad de dificultades en la enseñanza en el laboratorio, además de dificultades en el aprendizaje a través de las experiencias prácticas.

Con respecto a las dificultades de la enseñanza, Tobin (1987) examina un ejemplo representativo. Nos describe que, en la mayoría de los casos, la intención de la investigación en el laboratorio es la de confirmar algo que ya se ha tratado en una lección de tipo expositivo. Según él, se suele exigir que los alumnos sigan una receta para llegar a una conclusión predeterminada. En consecuencia, la demanda cognitiva del laboratorio tiende a ser baja. Con respecto a las dificultades en el aprendizaje, Novak y Gowin (1984) describen un ejemplo representativo. Observaron que muchos alumnos todavía perciben el laboratorio como un lugar donde hacen cosas, pero no ven el significado de lo que hacen. Por consiguiente, los alumnos proceden ciegamente a tomar apuntes o a manipular aparatos sin apenas tener un propósito y, como consecuencia, con poco enriquecimiento de su comprensión de la relación entre lo que hacen y alguna teoría.

En mi opinión, una de las razones más importantes por las cuales han surgido muchas dificultades en la

enseñanza-aprendizaje es que la instrucción científica se da fundamentalmente desde *una perspectiva transmisiva* sobre el desarrollo de los conocimientos. De acuerdo con esta perspectiva, los profesores de ciencias deberían actuar como intérpretes del contenido de libros de texto y manuales de laboratorio, y transmitir los conocimientos y destrezas a sus alumnos bien directamente. Se supone que los alumnos asimilan la información que se les proporciona, junto a los procedimientos prácticos, y se da por sentado que esto en sí les será valioso. Desde este planteamiento, los cursos de laboratorio conllevan los «experimentos-receta» que no requieren habilidades de resolución de problemas, ni pensamiento creativo. Otra consecuencia es que los cursos de laboratorio incluyen experimentos donde se proporciona información que confirma o ilustra lo que ya mencionó el profesor, o se dio en el libro de texto.

En esta ponencia se considera el trabajo de laboratorio desde una perspectiva «constructivista». Desde esta perspectiva, en los próximos dos apartados se describen un tipo determinado de experimentos científicos escolares, los llamados experimentos que plantean problemas (p.p.). En el siguiente apartado se exponen las experiencias de profesores de química con los experimentos p.p. Y finalmente se discuten varios dilemas (y soluciones) en la utilización de los experimentos p.p.

UN PLANTEAMIENTO QUE PLANTEA PROBLEMAS (P.P.)

Los experimentos científicos escolares juegan un papel importante en el proceso del desarrollo de los conocimientos. Se considerará este proceso desde el paradigma del constructivismo. De acuerdo con esta perspectiva sobre la adquisición de conocimientos (Driver, 1989; Fensham et al., 1994), el aprendizaje es un proceso dinámico en el cual los estudiantes construyen el significado de forma activa, partiendo de sus experiencias reales en conexión con sus conocimientos anteriores. Por esta razón, los experimentos científicos pueden ser importantes, ya que ofrecen al alumno oportunidades de tener muchas experiencias nuevas. Tanto el conocimiento como el aprendizaje se consideran contextuales. Esto implica que, en el proceso de cambio conceptual, son importantes no solamente factores personales, sino también factores sociales, tales como la comunicación y la cooperación. Es decir, la cognición es en parte un producto de las actividades (en el laboratorio), contexto y ambiente social en los que se desarrolla y se usa.

Desde la *perspectiva constructivista* personal y social, surgen varias implicaciones importantes para las actividades de enseñanza que implican el uso de experimentos en el aula. Primero, la idea de que los profesores no deberían ser transmisores de conocimientos y habilidades, sino que deberían actuar como guías que faciliten los procesos de aprendizaje, creando condiciones que permiten el cambio conceptual (Posner et al., 1982).

Segundo, la idea de que los profesores deberían informarse sobre las (pre)concepciones y habilidades de sus alumnos, así como sobre sus dificultades para entender temas científicos y para resolver problemas prácticos.

Y finalmente, la idea de que los profesores deberían centrar su atención en los aspectos sociales del aprendizaje, por ejemplo, dividiendo sus alumnos en grupos pequeños de dos, tres o cuatro, que compartan el mismo instrumental y cooperen en la realización de los experimentos.

Desde la perspectiva constructivista, surge otra importante implicación para la enseñanza: la elección de experimentos científicos apropiados para el aula. En mi opinión, una de las más importantes categorías implica trabajos de laboratorio que den a los estudiantes la experiencia de aquello que significa lo que a continuación se expone:

- formular preguntas basándose en los conocimientos previos;
- proponer soluciones probables;
- comprobar estas soluciones;
- compartir y discutir los procedimientos y las soluciones finales.

A los experimentos en el aula que incluyan una o más de estas experiencias, les denominaré *experimentos p.p.* El experimento consiste en que se estimula a los alumnos a trabajar en ambientes investigadores. Comentaré que no es necesario que los alumnos investiguen todos los temas científicos escolares, ni que solucionen todas las

partes de un problema solos. Sin embargo, es importante dar a los alumnos la oportunidad de desarrollar una competencia aceptable en la solución de los problemas (prácticos) y una confianza adecuada en su capacidad para operar de una forma cooperativa.

CATEGORÍAS Y FUNCIONES DE LOS EXPERIMENTOS QUE PLANTEAN PROBLEMAS

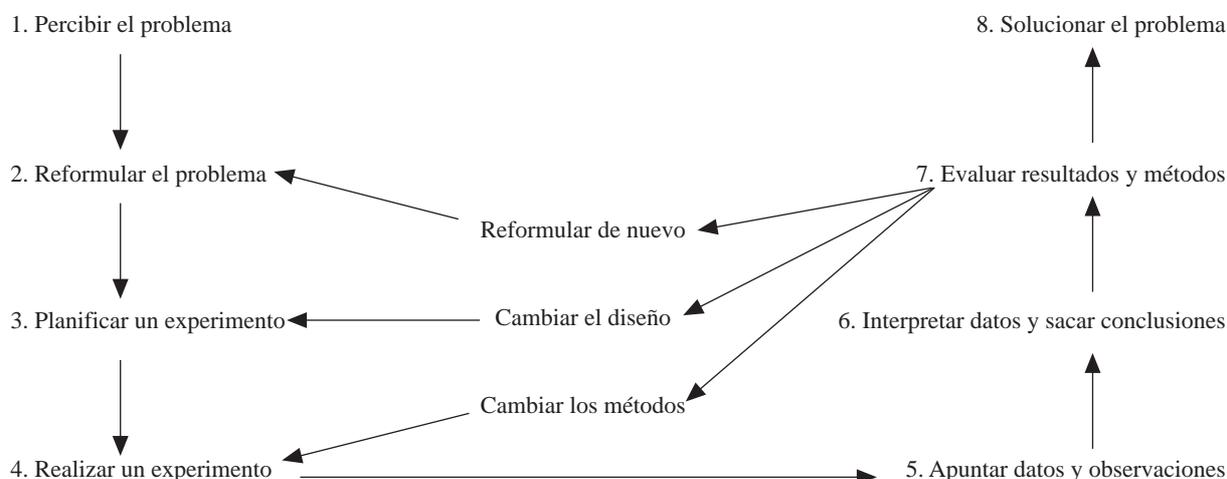
Categorías

Con respecto a los experimentos p.p., se pueden distinguir varias categorías. Para describir estas categorías, usaré un modelo cíclico de una cadena de actividades prácticas para la solución de problemas (Kempa, 1986). Este modelo está representado en la figura 1, y se usa como estructura para analizar la actuación del alumno en las investigaciones prácticas. Algunos aspectos de este modelo han sido presentados y discutidos por otros autores como Caamaño (1992) y Kirchner (1992).

La realización de los experimentos p.p. requiere actividades para los alumnos que estén relacionados con partes del ciclo de solución de problemas. El número y el tipo de partes relevantes pueden variar, y por eso se pueden distinguir diferentes categorías de experimentos p.p. Un tipo de distinción puede basarse en la idea de «grados de libertad» que se ofrecen a los estudiantes que están en el proceso de la solución de problemas prácticos (Pella, 1961).

La primera categoría importante de experimentos sólo implica las actividades de los alumnos en interpretar los

Figura 1
Un modelo de solución de problemas para las investigaciones prácticas.



datos y sacar conclusiones. Una segunda categoría de experimentos también incluye una actividad más: las observaciones de fenómenos. Una tercera categoría de experimentos implica no sólo estas tres actividades, sino también elegir y utilizar los procedimientos de medida adecuados y otras actividades prácticas. Una cuarta categoría es más extensa y también incluye la actividad de diseñar un plan general de actividades. Una quinta categoría incluye no sólo todas las actividades anteriores, sino también la de reformular un problema general en una forma abierta a la investigación (desarrollo de hipótesis). Finalmente, una sexta categoría incluye las anteriores y se amplía con la actividad de plantear un problema general. Una visión general de las seis categorías de experimentos aparece en la tabla II (Pella, 1961). Es evidente que también se pueden distinguir otras categorías de experimentos p.p., que conllevan otras combinaciones de actividades de solución de problemas por parte de los alumnos.

Tabla II
Categorías de experimentos que plantean problemas.

	Categoría del experimento					
	I	II	III	IV	V	VI
Pasos en el procedimiento	Realizado por el profesor (P) o el alumno (A)					
Plantear un problema	P	P	P	P	P	A
Formular hipótesis	P	P	P	P	A	A
Planificar un experimento	P	P	P	A	A	A
Realizar el experimento	P	P	A	A	A	A
Apuntar datos/observaciones	P	A	A	A	A	A
Sacar conclusiones	A	A	A	A	A	A

La secuencia de las seis categorías de experimentos descritos refleja dos tendencias que están interrelacionadas. Primero, hay una oportunidad creciente para que los estudiantes participen activamente en la solución práctica de los problemas y que experimenten más y más libertad en la realización práctica de los experimentos. Segundo, se puede esperar una diversidad creciente en los planteamientos de la solución de un problema. Por esta razón, las últimas categorías de experimentos implican un ambiente de aprendizaje más orientado hacia la investigación abierta que las anteriores. En la enseñanza científica actual, hasta ahora las tres primeras categorías de experimentos son las más comunes. Sin embargo, en los últimos años hay un creciente interés en la utilización de las últimas tres categorías, y se están llevando a cabo

nuevos proyectos científicos que incluyen trabajos de laboratorio de investigación abierta (Watts, 1991; Roth, 1995).

Funciones

Los experimentos p.p. pueden funcionar en todas las etapas importantes del proceso global de aprendizaje. Este proceso puede describirse como un ciclo de aprendizaje de exploración, elaboración y aplicación (Karplus et al., 1983).

Durante la *fase de exploración* se pueden usar los experimentos p.p. para estimular el interés de los alumnos en los fenómenos nuevos o nuevas categorías de problemas. En esta fase también se pueden usar los experimentos para provocar un llamado «conflicto cognitivo» en los alumnos. La creación de tal conflicto se considera una condición inicial importante para el cambio conceptual. De este modo los alumnos pueden experimentar que sus concepciones actuales no son adecuadas para describir, explicar o predecir nuevos fenómenos. En este caso, los experimentos pueden contribuir a aumentar la necesidad de nuevas concepciones (Posner et al., 1982).

Un ejemplo ilustrativo de un experimento que funciona en esta fase está relacionado con el concepto de *combustión*. Muchos estudiantes de los primeros niveles que exploren este concepto tienen la preconcepción de que la combustión siempre acarrea una disminución de la masa de la sustancia combustible (Donnelly y Welford, 1988). Por eso les sorprende mucho comprobar que un experimento cuantitativo acerca de la quema de un trozo de lana de hierro indica un incremento de la masa. Nace un conflicto cognitivo.

Durante la *fase de elaboración*, se pueden usar los experimentos p.p. para comprobar las hipótesis sobre conceptos y métodos científicos y para (re)construir modelos teóricos iniciales. En esta fase, los experimentos pueden contribuir a aumentar la inteligibilidad y la credibilidad de las nuevas concepciones (Posner et al., 1982).

Un ejemplo ilustrativo de un experimento que funciona en esta fase trata del concepto de *ácido*. Se puede pedir a los alumnos que realicen experimentos por medio de los cuales se puede comprobar la hipótesis de que las disoluciones de sustancias que tengan un sabor ácido contienen iones de hidrógeno. Tales experimentos implican reacción entre disoluciones ácidas y metales como el magnesio.

Durante la *fase de aplicación*, los experimentos p.p. pueden usarse para aplicar un concepto o un método a situaciones nuevas, y para investigar su significado en contextos nuevos. En esta fase, los experimentos pueden contribuir a hacer fructíferas las nuevas concepciones (Posner et al., 1982).

Un ejemplo ilustrativo de un experimento que funciona en esta fase se ocupa de la aplicación del concepto de estequiometría. Se puede pedir a los alumnos que diseñen y realicen un experimento estequiométrico por medio del cual se puede decidir si se debería describir el calentamiento del NaHCO_3 mediante la ecuación de reacción $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ o la ecuación $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Tabla III
Discusiones en el aula sobre un experimento acerca de las reacciones redox.

Situación en el aula	
Un profesor realiza dos experimentos en los cuales se debía determinar la fuerza reductora relativa de Fe, Cu y Zn. Primero, el profesor introduce un clavo de hierro en una disolución de sulfato de cobre y espera durante un rato. Después, surge la siguiente discusión de aula.	
Protocolo	
01	Profesor: – <i>Vamos a ver... ¿Podemos ver algo?... ¿Qué veis?</i>
02	Alumno: – <i>Pelusilla en el clavo.</i>
03	Profesor: – <i>El clavo se vuelve de color marrón, es decir, parece que se forma cobre... por eso, los iones de cobre pueden reaccionar con el hierro.</i>
A continuación el profesor repite el experimento, utilizando una disolución de sulfato de zinc en lugar del sulfato de cobre.	
05	Profesor: – <i>¿El clavo en el sulfato de zinc?</i>
06	Alumno: – <i>Es más pequeño. El color parece más claro.</i>
07	Profesor: – <i>Así que no sucede nada... por eso, el ion de Zn^{2+} no puede reaccionar con el hierro [...] podemos establecer una secuencia preciosa de los metales.</i>
08	
Con respecto al primer experimento, el profesor escribe las ecuaciones: $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$ y $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$. Con respecto al segundo experimento, el profesor anota solamente una cruz en el encerado.	
09	Profesor: – <i>[...] Cu^{2+} necesita dos electrones. El hierro puede perder dos electrones, así que aquí tenemos la ecuación.</i>
10	
11	Corinne: – <i>Con respecto a la segunda ecuación... significa eso...</i>
12	<i>¿El clavo se vuelve positivo de algún modo?</i>
El profesor escribe: $Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightarrow Cu(s) + Fe^{2+}(aq)$.	
13	Profesor: – <i>No, $Fe^{2+}(aq)$ significa que un poco de hierro del clavo entra en la solución como ion hierro... en su lugar, aparece una fina capa de cobre [...]</i>
14	
(Luego)	
15	Profesor: – <i>Experimento 1. ¿Cuál es el agente reductor más fuerte: el cobre o el hierro?</i>
16	Jack: – <i>En... en mi opinión, el hierro.</i>
17	Profesor: – <i>El hierro, porque el hierro es capaz de perder sus electrones y parece que el cobre no lo es... así que podríamos escribir una secuencia [...]. Del experimento 2, ¿podemos concluir algo? ¿Podéis decir cuál es el agente más activo: el hierro o el zinc? [...]</i>
18	
19	
20	Estudiantes: – <i>Difícil...</i>

Es evidente que el problema dado también se puede solucionar por medio de la realización de un experimento que requiere la aplicación de los conceptos de *ácido y base*.

LAS EXPERIENCIAS DE LOS PROFESORES ACERCA DE LOS EXPERIMENTOS P.P.

En este apartado se presentan unas acciones y creencias características de los profesores, con respecto a los experimentos p.p. en el aula. Las descripciones se han obtenido de dos trabajos de investigación holandeses que han sido descritos en otras ocasiones (De Jong et al., 1995; Acampo y De Jong, 1994). Aquí sólo se comentarán los resultados relevantes. Estos resultados se obtuvieron de análisis de protocolos de conversaciones gra-

badas en el aula y de análisis de entrevistas grabadas con profesores. Los experimentos p.p. en cuestión tratan del tema de la electroquímica. Este tema incluye las reacciones de oxidación y de reducción, además de las células electroquímicas, y se enseña en el quinto año de química de la escuela secundaria en Holanda (edad del alumno: 16-17). Es bastante usual realizar algunos experimentos electroquímicos p.p. como experiencias de cátedra, mientras que otros se realizan como experimentos de los alumnos.

Estudio I: Experimentos de demostración p.p.

Se investiga el uso de las experiencias de cátedra p.p. en el contexto del primer trabajo de investigación (De Jong et al., 1995). Dos profesores de química, uno experimentado y uno novel, participan en el caso estudiado. En un

aula, los dos profesores realizaron varias experiencias de cátedra sobre las reacciones de oxidación y de reducción. Estos experimentos pueden clasificarse como p.p. porque dan a los alumnos la oportunidad de observar los fenómenos, interpretar sus datos y sacar conclusiones por sí mismos (categoría II en la tabla II). Sin embargo, examinando los análisis de los protocolos en el aula, parece que los profesores no estimulaban especialmente a los alumnos para que observaran estos fenómenos ellos mismos, y desarrollasen sus propias explicaciones. Un protocolo de aula clarificador aparece en la tabla III.

El protocolo de aula presentado trata de discusiones acerca de unos experimentos que funcionan en la fase de exploración y elaboración. Se enfocan a la introducción del concepto de *fuerza relativa* de los agentes reductores (con respecto a las series Zn, Fe y Cu). El episodio en el aula indica que las observaciones de los alumnos son anuladas por las afirmaciones del profesor. No se discuten las diferencias entre las observaciones (p.e., líneas 2-3 y 6-7). Además, los alumnos no tienen la oportunidad de interpretar los fenómenos observados en términos de semireacciones (líneas 9-10). El profesor inmediatamente da sus explicaciones y conclusiones (línea 17). Para los alumnos, este planteamiento didáctico causa dificultades para entender las semireacciones (líneas 11-12) y para ver la secuencia propuesta de los

metales como agentes reductores (línea 20). Las actividades del profesor no ayudan a los alumnos a aprender el significado de una nueva concepción acerca de los agentes reductores por medio de intentar explorar y desarrollar este significado por sí mismos.

Los análisis de otros protocolos también han indicado que, en muchos casos, los profesores decían a sus alumnos antes de tiempo lo que debían observar y qué explicaciones acompañan a estas observaciones. Con este modo de enseñanza, los profesores parecían propiciar que muchos alumnos no siguieran lo que el profesor decía, y no ayudaron a los alumnos a entender los nuevos conceptos. En definitiva, los profesores tienden a no aprovechar las posibilidades de p.p. en los experimentos de demostración.

Estudio II: Experimentos p.p. para estudiantes

Se investiga el uso de los experimentos p.p. para estudiantes en el contexto del segundo trabajo de investigación (Acampo y De Jong, 1994). Nueve profesores de química, con distintos grados de experiencia, participaron en este estudio. Ofrecieron a sus alumnos varios experimentos referentes a las células electroquímicas. Se pueden clasificar estos experimentos como p.p. porque dan a los alumnos la oportunidad de realizar el

Tabla IV
Discusiones en el aula sobre un experimento para introducir células galvánicas.

Situación de aula	
Dos estudiantes han realizado un experimento muy conocido (A): Se coloca una barra de cobre en un vaso de precipitados, con ácido sulfúrico diluido, y una barra de zinc en otro vaso de precipitados con ácido sulfúrico diluido. Después, han realizado un nuevo experimento (B): Se coloca la barra de cobre y la barra de zinc juntas en otro vaso de precipitados con ácido sulfúrico diluido, conectándolas por medio de un cable y grapas. A continuación, ambos estudiantes (E1 y E2) intentan dar una explicación para sus observaciones. Finalmente llega su profesor (P).	
01 P:	- ¿Qué veis?
02 E1:	- Burbujas.
03 E2:	- Burbujas.
04 P:	- ¿Qué diferencia hay con el experimento A?
05 E1:	- Ahora también en el cobre...
06 P:	- Sí, en el cobre también ahora hay gas... ¿Cómo puede ser eso según tu...?
07 E2:	- Esos electrones van ahora...
08 P:	- Sí, ¿qué hacen los electrones del zinc...?
09 E1:	- Mmm... van al cobre... vamos a ver... el zinc los cede... Los electrones del zinc van al cobre.
10 P:	- ¿Cómo?
11 E1:	- Creo que es a través del ácido sulfúrico.
12 P:	- Tú crees que es a través del ácido. ¿Y tú qué piensas?
13 E2:	- Los electrones irán así.
14 P:	- A través de la disolución... si... No, eso no es correcto.
15 E1:	- Pues, entonces, irán a través del cable.
16 P:	- Sí, entonces, irán a través del cable... Sí, eso es... ¿Cómo puedes comprobar si es correcto?
17 E2:	- Sí, volver a quitar el cable.
18 P:	- Sí... bueno... pruébalo... así que lo veis... para al llegar al cobre...
19 E1:	- Mmm...
20 E2:	- Sí.
21 P:	- Así que tiene que ir a través del cable.

experimento, de observar los fenómenos, de interpretar sus datos y de sacar conclusiones por sí mismos (categoría III de la tabla II). Los estudiantes tienen que trabajar en pequeños grupos de dos, tres o cuatro. De los análisis de los protocolos de aula, parece que los profesores estimulaban mucho más a los alumnos para que observaran los fenómenos por sí mismos, y desarrollaran sus propias conclusiones. Se presenta un protocolo de aula clarificador en la tabla IV.

El protocolo de aula que se presenta trata de discusiones sobre unos experimentos que funcionan en la fase de exploración y se centran en la introducción del concepto de *célula electroquímica*. Los experimentos para estudiantes son adaptaciones de los experimentos descritos por Barral y otros (1992). El episodio en el aula indica que el profesor no anula lo que dicen los alumnos. Hace una serie de preguntas cortas y abiertas a los alumnos, tales como: ¿Qué veis? (línea 1). ¿Tú qué piensas? (línea 12). ¿Cómo puede ser eso? (línea 6). De vez en cuando, el profesor resume concisamente las respuestas de los alumnos (líneas 6, 12, 14, 16). También da a los alumnos la oportunidad de pensar en posibilidades para verificar sus propias hipótesis (líneas 15-17) y comprobarlas. Sin embargo, al final el profesor da sus propias observaciones y conclusiones (líneas 18 y 21).

Los análisis de otros protocolos han indicado que, en muchos casos, los profesores ayudan a los estudiantes mucho más a observar e interpretar sus datos por sí mismos para aprender el significado de una nueva concepción. Los profesores utilizan algunas técnicas para hacer preguntas que se corresponden hasta cierto punto con las llamadas técnicas de entrevista «en profundidad» (actitud libre), tales como hacer preguntas abiertas y resumir las respuestas de los alumnos. En este método de enseñanza, los profesores no influyen en los alumnos y les dan la oportunidad de explorar y desarrollar sus propios significados. Sin embargo, parece que en muchos casos los profesores tienen dificultades para ofrecer libertad a sus alumnos. Todavía tienden a decirles lo que deben observar y qué explicación va con estas observaciones.

Las creencias de los profesores y los experimentos p.p.

Las entrevistas con los profesores han aclarado aún más sus intenciones. Partiendo de los análisis de las entrevistas, parece que los profesores afirmaban que tenían *sensaciones ambivalentes* en cuanto a los experimentos p.p. Por una parte, decían que se realiza un aprendizaje eficaz cuando los profesores intentan transmitir los conocimientos de una manera directa. Este planteamiento didáctico impide que los alumnos desarrollen concepciones que difieren de las que el profesor pretende. Además, los profesores culpaban a la falta de tiempo el hecho de no poder responder seriamente a toda pregunta de cada alumno, especialmente en las clases muy numerosas. Por otra parte, los profesores creían que es importante que los alumnos aprendiesen de forma activa, observando e interpretando fenómenos naturales ellos mismos. También indicaron que aplican esta creencia a su propia manera de aprender.

Los profesores también opinaban que es más difícil trabajar con las experiencias de cátedra p.p., que con los experimentos p.p. para estudiantes. Recalaron que muchas veces prefieren realizar una experiencia de cátedra, si las clases son grandes, si falta tiempo, o la clase es difícil de controlar. Se dieron cuenta de que estas circunstancias no les estimulan para aplicar un planteamiento didáctico p.p. Con respecto al uso de los experimentos p.p. para alumnos, los profesores manifestaron sentimientos más positivos. Por ejemplo, con respecto al experimento que aparece en la tabla IV, algunos ejemplos ilustrativos de comentarios de los profesores son:

Profesor 1: –Bueno, les da algo para pensar mucho, realmente es una revelación para esos estudiantes lo que sucede en la barra de cobre, muy bueno, este experimento.

Profesor 2: –Primero, sin el cable de conexión, entonces verán, en el cobre no sucede nada [...] Creo que sí, que hay alumnos que piensan que vienen iones Zn^{2+} que se mueven hacia la barra de cobre y hacen algo allí [...] y tú lo impides.

Para terminar, los profesores reconocieron que tienen sentimientos ambivalentes hacia el uso de los experimentos p.p., especialmente las experiencias de cátedra p.p. Creían que los experimentos de alumnos son más apropiados para que el profesor facilite los procesos de aprendizaje en lugar de actuar como transmisor de conocimientos y de métodos prácticos. Se dieron cuenta de que había una cierta *discrepancia* entre la intención y la realidad de sus prácticas de laboratorio.

DILEMAS DOCENTES (Y SOLUCIONES) EN EL USO DE LOS EXPERIMENTOS P.P.

Del estudio descrito en el apartado anterior, surgieron algunos dilemas en el uso de los experimentos p.p. En este apartado, se elaboran estos dilemas junto a otros y se recomiendan posibles soluciones.

1. Escasa integración de la teoría y la práctica

La resolución de problemas prácticos debería funcionar principalmente como instrumento para el desarrollo de conceptos científicos y de métodos prácticos. Esto implica la integración de la teoría y la práctica. Sin embargo, en muchos casos, esta integración es más bien escasa. Por ejemplo, los alumnos tienen que usar un libro de texto para la teoría y otro para los experimentos, pero los contenidos no están conectados entre sí por medio de referencias mutuas. Debido a tales situaciones, la solución de problemas prácticos puede llegar a ser una meta en sí misma sin ningún vínculo con una estructura más amplia. Para evitar este tipo de situaciones pueden ser útiles las siguientes medidas didácticas:

a) Ofrecer a los alumnos un libro de texto que trate los experimentos además de la teoría, pero sin descripciones

de los resultados de los trabajos de laboratorio, tales como las observaciones específicas. Puede motivar a los estudiantes, para conectar sus propios trabajos prácticos con las nociones teóricas que vienen en su libro de texto.

b) Discutir en detalle los informes de los alumnos sobre los trabajos en el laboratorio. Esto puede ser una oportunidad fructífera para salvar la desconexión entre la teoría y la práctica.

2. La falta de tiempo

La mayoría de los temas en el currículo deben enseñarse en un número limitado de lecciones. Un planteamiento p.p. parece necesitar más tiempo que el planteamiento transmisor. Sin embargo, la transmisión de los conocimientos y los métodos prácticos directamente a los alumnos puede aumentar la posibilidad de que los alumnos entiendan mal, con lo cual, el profesor necesitará más tiempo para repetir las demostraciones y explicaciones. Así, pues, en general, no está muy claro cuál de estos planteamientos lleva más tiempo. Muchos profesores experimentan presiones de tiempo cuando realizan los trabajos de laboratorio en el aula de ciencias. Para ahorrar tiempo en el uso de los experimentos p.p. se pueden recomendar las siguientes medidas didácticas:

a) Decir a los alumnos de cuanto tiempo disponen para sus actividades de laboratorio. Esta información es importante, especialmente en el caso de los experimentos que requieren más de una clase.

b) Pedir a los alumnos que preparen el trabajo de laboratorio en casa, en lo posible. Por ejemplo, pueden leer la tarea, buscar datos y escribir su informe fuera del aula.

3. Problemas de evaluación

La evaluación del aprendizaje del estudiante en el laboratorio de la escuela es una dificultad conocida en la enseñanza de las ciencias, y se han descrito una gran variedad de modos y maneras de evaluación (Kempa, 1966). En el caso de los experimentos p.p., las dificultades más importantes residen en la evaluación de las distintas etapas en el ciclo descrito en la tabla I para la solución de problemas prácticos. Las siguientes medidas didácticas pueden hacer que la evaluación sea menos difícil (Tamir, 1990):

a) Centrar la evaluación en el informe escrito del experimento. Un listado de ítems enfocado a la calidad de la descripción de los pasos empleados en la resolución de los problemas será muy útil. También es importante informar a los alumnos acerca de estos ítems, los cuales podrían ser: ¿Es resoluble el problema? El plan propuesto, ¿es posible en esta determinada situación? ¿Es practicable en las condiciones que se da? ¿Son completos los datos? El análisis de los datos, ¿es válido y seguro? El informe final de la investigación, ¿es claro y consistente?

b) Ofrecer a los alumnos una prueba práctica de laboratorio. A través de una prueba de este tipo, es posible

evaluar un amplio espectro de los conocimientos y habilidades de los alumnos. Una lista de ítems de observación será provechoso. Esta lista con estas características incluye ítems como, por ejemplo: La «puesta a punto» del experimento, ¿es segura y apropiada? La manipulación con tubos de ensayo, aparatos, ¿se lleva a cabo con eficacia? ¿Se hace el experimento cuidadosamente y con limpieza? ¿Se anotan inmediatamente las observaciones?

4. Los experimentos son demasiado «abiertos»

Los experimentos p.p. pueden ofrecer distintos grados de libertad para los estudiantes (Tabla II). Sin embargo, un experimento puede ser demasiado «abierto» para los estudiantes y, por eso, les puede provocar muchas dificultades. Por ejemplo, los estudiantes no tienen ni idea de cómo empezar la resolución de los problemas prácticos, ni cómo continuar con sus actividades en el laboratorio. Por lo tanto, es importante que las exigencias de los experimentos se ajusten a las habilidades de los alumnos. Las siguientes medidas didácticas pueden contribuir a mejorar este ajuste:

a) Ofrecer a los estudiantes experimentos según una escala de crecientes grados de libertad. En ese caso, los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar su capacidad para realizar los experimentos p.p.

b) Dar a los alumnos las pistas adecuadas para elegir los pasos con el fin de solucionar el problema, y también proporcionarles retroalimentación sobre las actividades. Se pueden dar las pistas de manera más o menos implícita, como, por ejemplo, colocando en el aula un instrumento de laboratorio específico. La retroalimentación proporcionada debería funcionar de guía, no como una reprimenda, ni como una prescripción. La retroalimentación de un alumno (grupo) a otro también puede ser de mucha ayuda.

5. Una participación desigual de los estudiantes

Cuando los alumnos trabajan en grupos pequeños en el laboratorio de ciencias, realizan tareas diferenciadas. Por ejemplo, un estudiante (muchas veces un chico) maneja el instrumental, otro (muchas veces una chica) apunta las observaciones y un tercero escribe el informe, y así sucesivamente. En el caso de los experimentos p.p. esta diferenciación de tareas puede intensificarse, probablemente debido a las sensaciones de incertidumbre. Sin embargo, esta desigual participación de los estudiantes causa una visión fragmentada del problema práctico, y no contribuye al desarrollo de una amplia intuición en la solución de estos problemas. Para cambiar esta situación, pueden ser de ayuda las siguientes medidas didácticas:

a) Deje que los estudiantes trabajen en grupos homogéneos. Juntando a los alumnos de esta forma, la mayoría de ellos tiene que realizar tareas diferentes de las que habitualmente realiza.

b) Estimule a los alumnos para que participen en el problema en su totalidad, invitándoles a intercambiar las

tareas de vez en cuando. Unos proyectos prácticos que requieren más de una lección pueden hacer más atractivo el sistema de turnos.

6. Organización de aula compleja

Los profesores que quieren utilizar los experimentos p.p. se enfrentan con una organización de aula compleja. Si los alumnos trabajan en pequeños grupos independientes, no es fácil organizar las actividades de laboratorio y tener una visión global de sus procesos de aprendizaje. La organización del aula se complica aún más si los estudiantes trabajan en experimentos diferentes (de larga duración). Para simplificar la organización del aula, proponemos las siguientes medidas:

a) Presentar a los alumnos una estructura clara de cada lección. Esto puede indicar que se dice a los alumnos qué parte de la solución de los problemas prácticos será realizada por ellos mismos y qué parte por el profesor.

b) En el caso de un proyecto práctico de larga duración se pide a los alumnos que apunten sus actividades de forma concisa en un diario al final de cada lección. De este modo es más fácil conseguir una visión global.

7. Nuevos papeles para profesores y alumnos

El planteamiento p.p. implica que los estudiantes tienen que dejar de lado su papel de aprendices «pasivos», y los profesores tienen que dejar su papel de transmisores, tanto de conocimientos como de métodos prácticos. Ambos cambios pueden considerarse como un proceso amenazador, acompañado de sentimientos de incertidumbre. Para ayudar a los alumnos y profesores a aceptar su nuevo papel, son posibles varias medidas. Algunas medidas importantes pueden ser las siguientes:

a) Poner en práctica el planteamiento p.p. empezando con un proyecto práctico a pequeña escala, que incluye

experimentos que implican un bajo grado de libertad (Tabla II). También es importante crear un ambiente de aula que sea psicológicamente seguro. Esto puede estimular a los alumnos a explorar su papel nuevo de aprendiz, discutiendo las dificultades experimentadas y las dudas personales.

b) Los profesores pueden participar en cursos para la enseñanza de la solución de problemas prácticos o para actividades de laboratorios de investigación abierta. A continuación, se explican algunas características de estos cursos.

Los profesores juegan un papel clave en la puesta en práctica del planteamiento p.p. en el aula, especialmente con respecto al trabajo de laboratorio. Esto no es un proceso sencillo, sino que provoca varios dilemas para el profesor. Unas medidas didácticas específicas pueden ayudar a resolver estos dilemas, pero la mayoría de las medidas serán bastante nuevas para muchos profesores de ciencias. Tienen que aprender a elegir y poner en práctica las resoluciones más apropiadas. Esto subraya la importancia de los cursos de formación inicial y permanente en la enseñanza de los experimentos p.p.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a Mari A. Lires, Foro Químico Dr. Antonio Casares, la traducción de la versión original inglesa a la versión gallega. También agradece a los editores y *referees* de *Enseñanza de las Ciencias* por su generosa atención y ayuda.

NOTA

Trabajo presentado en las «II Jornadas sobre la Enseñanza de la Química», Vigo, Septiembre 12-14, 1996.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAMPO, J. y JONG, O. de (1994). Chemistry teachers' learning processes: a study of teacher training and reflection on classroom activities, en, Schmidt, H.J. (ed.), *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics*, pp. 229-238. Hong Kong: ICASE.
- BARRAL, F.L., FERNÁNDEZ, E.G. y OTERO, J.R.G. (1992). Secondary students interpretations of the process occurring in an electrochemical cell. *Journal of Chemical Education*, 69, pp. 655-657.
- CAAMAÑO, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. *Aula*, 9, pp. 61-68.

- DONELLY, J. F. y WELFORD, A.G. (1988). Children's performance in chemistry. *Education in Chemistry*, 25, pp. 7-10
- DRIVER, R. (1989). Changing conceptions, en, Adey, P. (ed.), *Adolescent Development and School Science*, pp. 79-99. Londres: Falmer Press.
- FENSHAM, P.J., GUNSTONE, R.F. y WHITE, R.T. (eds.) (1994). *The content of Science: a constructivist approach to its teaching and learning*. Londres: Falmer Press.
- HUIBREGTSE, I., KORTHAGEN, F.A.J. y WUBBELS, T. (1994). Physics teachers' conceptions of learning, teaching

- and professional development. *International Journal of Science Education*, 16, pp. 539-561.
- JONG, O. DE (1992). Interactive teacher training: implications for an in service course in teaching problem solving, en, Vonk, J.H.C., I. Giesbers, J.H.G.I., Peters, J.J. y Wubbels, Th. (eds.), *New Prospects for Teacher Education in Europe II*, pp. 131-139. Amsterdam: VU Press.
- JONG, O. DE, ACAMPO, J. y VERDONK, A.H. (1995). Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, pp. 1097-1110.
- KARPLUS, R., PULOS, S. y STAGE, E.K. (1983). Proportional reasoning of early adolescents, en, Lesh, R. y Landau, M. (eds.), *Acquisition of mathematics concepts and processes*, pp. 45-92. Orlando: Academic Press.
- KEMPA, R. (1986). *Assessment in science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KIRSCHNER, P.A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science and Education*, 1, pp. 273-299.
- LAZAROWITZ, R. y TAMIR, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science, en, Gabel, D. (ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, pp. 94-128. Nueva York: MacMillan.
- NOVAK, J.D. y GOWIN G.B. (1984). *Learning how to learn*. Nueva York: Cambridge University Press.
- PELLA, M.O. (1961). The laboratory and science teaching. *The Science Teacher*, 28, pp. 20-31
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P.W. y Gertzog, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.
- ROTH, W.M. (1995). *Authentic school science: knowing and learning in open-inquiry science laboratories*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- TAMIR, P. (1990). Evaluation of student laboratory work and its role in developing policy en Hegarty-Hazel, E. (ed.), *The student laboratory and the science curriculum*, pp. 242-267. Londres: Routledge.
- TOBIN, K. (1987). Secondary science laboratory activities. *European Journal of Science Education*, 8, pp. 199-211.
- WATTS, M. (1991). *The science of problem-solving: a practical guide for science teachers*. Londres: Cassell.

[Artículo recibido en septiembre de 1996 y aceptado en octubre de 1997.]