

Capítulo 4

¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica?

Carles Furió, José Payá y Pablo Valdés

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Qué visiones deformadas acerca de la actividad científica pudieran estar transmitiendo, por acción u omisión, los trabajos experimentales que se realizan habitualmente?
- ¿Qué imagen de las relaciones ciencia-tecnología, en particular, transmiten las prácticas de laboratorio habitualmente propuestas?
- ¿Cuál debería ser el papel del trabajo experimental en el aprendizaje de las ciencias?
- ¿Cómo habría que reorientar las prácticas de laboratorio para que dejen de ser simples recetas a aplicar?
- ¿Qué papel pueden jugar el diseño y la elaboración por los estudiantes de productos tecnocientíficos sencillos?

EXPRESIONES CLAVE

Características de la actividad científica; experiencias tecnocientíficas sencillas; familiarización de los estudiantes con la actividad científica; renovación de las prácticas de laboratorio; trabajos prácticos como investigaciones.

INTRODUCCIÓN

La idea de buscar en la realización de abundantes trabajos prácticos la superación de una enseñanza puramente libresco y la solución a la falta de interés por el aprendizaje de las ciencias cuenta con una larga tradición (Lazarowitz y Tamir, 1994; Lunetta, 1998). De hecho constituye una intuición básica de la generalidad de los profesores de ciencias y de los propios alumnos, que contemplan el paso a una enseñanza eminentemente experimental como una especie de “revolución pendiente” (Gil-Pérez et al., 1991), necesaria para lograr la familiarización de los estudiantes con la naturaleza de la actividad científica. Una “revolución” permanentemente dificultada, se afirma, por factores externos (falta de instalaciones y material adecuado, excesivo número de alumnos, carácter enciclopédico de los currículos...).

La influencia de esta tendencia ha sido particularmente notable en el mundo anglosajón, donde en los años sesenta y setenta se elaboraron y pusieron en práctica numerosos proyectos de aprendizaje “por descubrimiento autónomo”, centrados, casi exclusivamente, en el trabajo experimental y en “los procesos de la ciencia”, como por ejemplo Physical Science Study Committee (PSSC), Chemical Education Material Study (CHEM Study) y Biological Sciences Curriculum Study (BSCS), en los Estados Unidos, y los cursos Nuffield de física, química y biología en Inglaterra. De estos proyectos derivaron incluso prototipos de equipamiento y variantes de trabajos experimentales que se extendieron por muchos países.

Pero, ¿hasta qué punto las prácticas que se realizan, en mayor o menor número, contribuyen a dicha familiarización? Es importante contestar a esta cuestión mediante un cuidadoso análisis de las prácticas habituales porque, atendiendo a la discusión realizada en el capítulo 2 en torno a las visiones deformadas de la ciencia, cabe sospechar que el problema principal no sea el del número de prácticas realizadas, sino la naturaleza de las mismas.

ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO HABITUALES

Propuesta de trabajo

Elijan algún trabajo de laboratorio de los que ordinariamente se realizan en la educación secundaria y analicen el modo en que se presenta, es decir, comenten sus aspectos positivos, lo que convendría modificar o suprimir, lo que se echa en falta, etc.

Cuando se favorece una reflexión previa en torno a las finalidades de la enseñanza de las ciencias y las características básicas de la actividad científica, como la realizada en la primera parte de este libro, los mismos profesores que habitualmente han concebido los trabajos de laboratorio como simples manipulaciones ahora toman conciencia de sus insuficiencias y de que dichos trabajos pudieran estar transmitiendo, por acción u omisión, una serie de visiones deformadas sobre del trabajo científico. Se censuran, ante todo, el carácter de simple “receta”, su énfasis, casi exclusivo, en la realización de mediciones y cálculos, y se plantea la ausencia de muchos de los aspectos fundamentales para la construcción

de conocimientos científicos que resumimos en el cuadro 1 del capítulo 2, tales como la discusión de la relevancia del trabajo a realizar y el esclarecimiento de la problemática en que se inserta, la participación de los estudiantes en el planteamiento de hipótesis y el diseño de los experimentos, el análisis de los resultados obtenidos, etc.

Estas críticas coinciden, básicamente, con las recogidas en la literatura acerca del tema, que es ya bastante extensa. Por ejemplo, Lazarowitz y Tamir (1994) reportan haber encontrado 37 revisiones del tema entre 1954 y 1990, y éstas han seguido llevándose a cabo durante la pasada década (Barberá y Valdés, 1996; Lunetta, 1998). Se han publicado, en particular, numerosas críticas a los trabajos de laboratorio habituales (Gil-Pérez et al., 1991; Hodson, 1992 y 1994), números monográficos en diferentes revistas (por ejemplo: *International Journal of Science Education*, 18 (7), 1996, y *Alambique*, 2, 1994...), así como tesis doctorales (Payá, 1991; González, 1994; Salinas, 1994; González de la Barrera, 2003). La crítica a las prácticas habituales ha sido especialmente contundente y generalizada al evaluar los resultados del modelo de aprendizaje por “descubrimiento autónomo”, cuyas serias limitaciones, asociadas a un inductivismo extremo, han sido denunciadas por numerosos autores (Ausubel, 1978; Giordan, 1978; Gil-Pérez, 1983; Millar y Driver, 1987; Salinas y Cudmani, 1992). Pero no se trata únicamente de inductivismo. Conviene, por ello, profundizar en las carencias de las prácticas de laboratorio habituales y mostrar su contribución a la imagen distorsionada y empobrecida de la actividad científica que discutimos en el capítulo 2.

Propuesta de trabajo

¿Qué visiones deformadas acerca de la actividad científica pudieran estar

transmitiendo, por acción u omisión, los trabajos experimentales habituales?

Ya se ha señalado el gran peso que tiene la concepción empiro-inductivista en el profesorado de ciencias y, vinculada a ella, la común deformación que identifica a la metodología del trabajo científico con la realización de experimentos. Recordemos, por otra parte, que las distintas visiones deformadas de la ciencia se relacionan estrechamente entre sí. Así, la que reduce la metodología del trabajo científico a la realización de experimentos está fuertemente influida por una imagen de la ciencia que desconoce su naturaleza social y, en consecuencia, que no tiene en cuenta la multiplicidad de facetas que caracterizan dicho trabajo, ni tampoco otras formas de contrastación de conceptos y teorías diferentes al experimento. Al respecto de esto último, pensemos, por ejemplo, que al examinar unos resultados a la luz del cuerpo de conocimientos aceptado por la comunidad científica, estamos haciendo uso de todo el trabajo, teórico y práctico (en particular experimental), por medio del cual se ha establecido dicho cuerpo de conocimientos, lo que muchas veces hace innecesaria una contrastación experimental específica.

La concepción empiro-inductivista se hace muy evidente cuando el trabajo experimental se realiza, como es frecuente, con el propósito de observar algún fenómeno para “extraer” de él un concepto o cuando los estudiantes lo llevan a cabo mediante una guía previamente preparada, sin tener en cuenta, reiteramos una vez más, las cuestiones a que se pretende dar respuesta (lo que contribuye a una visión aproblemática), la discusión de su posible interés y relevancia (visión descontextualizada), la formulación tentativa de

hipótesis, el proceso de diseño que necesariamente precede a la realización de los experimentos o el análisis crítico de los resultados obtenidos (reforzando así una visión rígida, algorítmica y cerrada de la ciencia), etc. Todos estos aspectos son absolutamente fundamentales para que la experimentación tenga sentido.

Cabe señalar que cuando se propone a los profesores este análisis crítico de las prácticas de laboratorio habituales, lo realizan sin dificultad, como un corolario de la discusión efectuada en torno a las visiones distorsionadas de la ciencia. Pero merece la pena detenerse en dicho análisis para preparar mejor su necesaria transformación. En particular, conviene insistir en el papel jugado por las visiones acerca de la tecnología en una adecuada preparación del trabajo experimental.

Propuesta de trabajo

¿Qué imagen de las relaciones ciencia-tecnología transmiten las prácticas de laboratorio habitualmente propuestas?

Ya se ha examinado en el segundo capítulo de este libro el lugar central que le corresponde a la actividad de diseño –casi siempre ausente en los trabajos experimentales que se realizan en la enseñanza de las ciencias– como vínculo entre las actividades científicas y tecnológicas y, por consiguiente, a la hora de transmitir una correcta visión de las relaciones ciencia-tecnología. Es cierto que, como ya señalaba Bunge (1976), los diseños experimentales son deudores del cuerpo de conocimientos (la construcción, p.e., de un amperímetro sólo tiene sentido a la luz de una buena comprensión de la corriente eléctrica), pero su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo con muchas de las características del trabajo tecnológico. Es precisamente éste el sentido que debe darse a lo que manifiesta Hacking (1983) cuando –parafraseando la conocida frase de que “la observación está cargada de teoría” (Hanson, 1958)– afirma que “la observación y la experimentación científica están cargadas de una competente práctica previa”.

Como sabemos, esta dependencia de la ciencia respecto de la tecnología –y viceversa– se ha hecho cada vez más notable por lo que hoy corresponde hablar de *una estrecha interrelación ciencia-tecnología* (Maiztegui et al., 2002). Pero todo el papel de la tecnología en el desarrollo científico es algo que las prácticas de laboratorio habituales dejan de lado, al presentar diseños experimentales como simples recetas ya preparadas y excluir así cualquier reflexión acerca de las relaciones ciencia-tecnología.

Nos referiremos más concretamente a este papel de los diseños al desarrollar un ejemplo de práctica de laboratorio. Ilustraremos así el papel central de la tecnología en el desarrollo científico, cuestionando la concepción habitual de la tecnología como “ciencia aplicada” (Gardner, 1994).

En definitiva, el trabajo experimental no sólo tiene una pobre presencia en la enseñanza de las ciencias, sino que la orientación de las escasas prácticas que suelen realizarse contribuye a una visión distorsionada y empobrecida de la actividad científica. Es preciso, pues, proceder a una profunda reorientación.

LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO COMO INVESTIGACIÓN

Los estudios sobre prácticas de laboratorio han generado un amplio consenso en torno a su orientación como actividad investigadora (Gil-Pérez et al., 1991; González, 1992; Hodson, 1992 y 1993; Tamir y García, 1992; Grau, 1994; Lillo, 1994; Watson, 1994; Gil-Pérez y Valdés, 1996). El consenso existente en torno a la necesidad de esta reorientación merece ser resaltado, pero es preciso ir más allá y mostrar de forma concreta, con ejemplos ilustrativos, lo que cada cual entiende por “prácticas como investigaciones”. En caso contrario corremos el peligro de que dicha expresión no pase de ser un simple eslogan, atractivo pero escasamente operativo, mientras la generalidad del profesorado continúa prestando escasa atención a las prácticas de laboratorio (Nieda, 1994).

Si queremos avanzar realmente en la transformación de las prácticas de laboratorio, es necesario analizar cuidadosamente las propuestas concretas, llevarlas al aula y contrastar su validez (Payá, 1991; Gil-Pérez, Navarro y González, 1993; González, 1994; Salinas, 1994; Gil-Pérez y Valdés, 1996). Las propuestas se fundamentan, claro está, en el trabajo de clarificación acerca de la naturaleza de la actividad científica realizado en el capítulo 2 y, muy concretamente, en la incorporación de los aspectos recogidos en ese capítulo.

Desde este punto de vista, una práctica de laboratorio que pretenda aproximarse a una investigación ha de dejar de ser un trabajo exclusivamente “experimental” e integrar muchos otros aspectos de la actividad científica igualmente esenciales. De forma muy resumida recordaremos a continuación el conjunto de aspectos cuya presencia consideramos fundamental para poder hablar de una orientación investigativa del aprendizaje de las ciencias (ver capítulo 2) y, en este caso, de las prácticas. Hemos agrupado dichos aspectos en diez apartados, pero queremos insistir en que no constituyen ningún algoritmo a seguir linealmente, sino un recordatorio de la extraordinaria riqueza de la actividad científica y una llamada de atención contra los habituales reduccionismos.

1. Presentar **situaciones problemáticas abiertas** de un nivel de dificultad adecuado, con objeto de que los estudiantes puedan tomar decisiones para precisarlas y entrenarse, así, en la transformación de situaciones problemáticas abiertas en problemas precisos.
2. Favorecer la reflexión de los estudiantes sobre la relevancia y el posible **interés de las situaciones** propuestas, que dé sentido a su estudio (considerando las posibles implicaciones CTSA, etc.) y evite un estudio descontextualizado, socialmente neutro.
3. Potenciar los **análisis cualitativos**, significativos, que ayuden a comprender y a acotar las situaciones planteadas (a la luz de los conocimientos disponibles, del interés del problema, etc.) y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca.

Se trata de salir al paso de operativismos ciegos sin negar, muy al contrario, el **papel esencial de las matemáticas como instrumento de investigación**, que interviene en todo el proceso, desde el enunciado mismo de problemas precisos (con la necesaria formulación de preguntas operativas) hasta el análisis de los resultados.

4. Plantear la **emisión de hipótesis** como actividad central de la investigación científica, susceptible de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones de los estudiantes.

Insistir en la necesidad de fundamentar dichas hipótesis y prestar atención, en ese sentido, a la *actualización de los conocimientos que constituyan prerequisites* para el estudio emprendido.

Reclamar una cuidadosa *operativización de las hipótesis*, es decir, la derivación de consecuencias contrastables, prestando la debida atención al control de variables, a cómo es la dependencia esperada entre las variables, etc.

5. Conceder toda su importancia a la **elaboración de diseños** y a la planificación de la actividad experimental por los propios estudiantes, dando a la **dimensión tecnológica** el papel que le corresponde en este proceso.

Potenciar, allí donde sea posible, la incorporación de la tecnología actual a los diseños experimentales (ordenadores, electrónica, automatización...), con objeto de favorecer una visión más correcta de la actividad científico-técnica contemporánea.

6. Plantear el **análisis detenido de los resultados** (su interpretación física, fiabilidad, etc.) a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y de los resultados de "otros investigadores" (los de otros equipos de estudiantes y los aceptados por la comunidad científica, recogidos en los libros de texto).

Favorecer, a la luz de los resultados, la "autorregulación" del trabajo de los alumnos, es decir, las necesarias revisiones de los diseños, de las hipótesis o, incluso, del planteamiento del problema. Prestar una particular atención, en su caso, a *los conflictos cognitivos* entre los resultados y las concepciones iniciales, facilitando así, de una forma funcional, los cambios conceptuales.

7. Plantear la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...) y contemplar, en particular, las *implicaciones C TSA* del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas...).
8. Pedir un **esfuerzo de integración** que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, así como las posibles implicaciones en otros campos del conocimiento.
9. Conceder una especial importancia a la elaboración de **memorias científicas** que reflejen el trabajo realizado y puedan servir de base para resaltar el papel de la comunicación y el debate en la actividad científica.
10. Potenciar la **dimensión colectiva del trabajo científico** organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre cada equipo y la comunidad científica, representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido (recogido en los textos), el profesor como experto, etc.

Hacer ver, en particular, que los resultados de una sola persona o de un solo equipo no pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis y que el cuerpo de conocimientos constituye la cristalización del trabajo realizado por la comunidad científica y la expresión del consenso alcanzado en un determinado momento.

Insistimos en que los aspectos contemplados no constituyen ningún algoritmo, ningún intento de ahorrar la actividad científica en unos "pasos" o "etapas", sino un recordatorio de la riqueza del trabajo científico. Una riqueza que debe estar presente en los intentos de transformar toda la enseñanza de las ciencias y no sólo las prácticas. De hecho, la orientación propuesta cuestiona la idea de "práctica de laboratorio" como actividad autónoma, puesto que la investigación científica abarca mucho más que el trabajo experimental, y éste no tiene sentido tomado aisladamente.

Terminamos aquí estas consideraciones generales y pasamos seguidamente a transcribir un ejemplo ilustrativo de la orientación propuesta (Gil-Pérez y Valdés, 1996).

UN EJEMPLO ILUSTRATIVO: ESTUDIO DE LA CAÍDA DE GRAVES

¿Por qué hemos elegido esta práctica tan conocida y al mismo tiempo, según una opinión bastante generalizada, tan poco atractiva? “¿Qué interés pueden tener los estudiantes, hoy en día –se suele preguntar–, en dejar caer bolitas por un plano inclinado?”. ¿En qué medida van a poder adquirir con ello una visión estimulante y actual de la ciencia? ¿Qué interés puede tener, en definitiva, esa “física prehistórica”?

Son esas mismas preguntas las que nos han movido a elegir una práctica tan “tradicional”, pues pretendemos mostrar que la falta de atractivo de este tipo de trabajos deriva de la orientación que habitualmente se les da, y que su replanteamiento como una investigación, en la forma que aquí presentaremos, puede generar auténtico interés y proporcionar también –a través de la incorporación de elementos de la tecnología moderna a los diseños experimentales y al tratamiento de los resultados– una visión más actual de la ciencia.

En lo que sigue reproducimos el programa de actividades que hemos concebido para orientar la investigación de los estudiantes (designadas con la notación A.1., A.2., ...), acompañadas de comentarios que intentan justificar dichas actividades, transcribir sintéticamente las contribuciones de los estudiantes, etc.

Digamos por último, antes de pasar a transcribir esta práctica de caída de graves, que su realización se propone cuando se ha procedido ya a la construcción –planteada también como una investigación, siguiendo las orientaciones que se exponen en el capítulo 6– de las magnitudes que permiten describir el movimiento de un objeto, así como las ecuaciones que resultan en el caso de que la velocidad sea constante o lo sea la aceleración. Precisamente dichos conceptos y ecuaciones tienen un carácter de *construcciones tentativas*, de hipótesis de trabajo, y se trata ahora de constatar su validez para el estudio de los movimientos reales, como el de caída de los graves que aquí se propone, es decir, de constatar su capacidad para describirlos y predecir resultados contrastables experimentalmente.

Consideración del posible interés de la situación planteada

A.1. Discutan el posible interés que tiene el estudio de la caída de los cuerpos.

Conviene insistir en la importancia de esta discusión previa acerca del interés del estudio planteado: una orientación investigadora como la que aquí se propone es incompatible con la inmersión de los estudiantes en una tarea cuya finalidad y sentido se les escape. Esto es lo que suele hacerse, sin embargo, incluso cuando existe la voluntad de plantear la tarea como una investigación. Se argumenta al respecto que los alumnos difícilmente podrán conocer las razones que muestran la relevancia del estudio planteado y su posible interés. De hecho, cuando se les plantea dicha reflexión en esta práctica, inicialmente apenas se les ocurre nada, más allá de algunos tópicos como “se trata de un movimiento habitual en la vida cotidiana” y otros del mismo estilo. Pero, una vez roto el “hielo inicial”, va surgiendo toda una variedad de argumentos –relativos al lanzamiento de objetos desde diferentes lugares, al movimiento de los proyectiles, etc–, que, además de favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, permiten una aproximación funcional a las relaciones CTSA y auspician la adquisición de una concepción preliminar de la tarea. Conviene puntualizar, sin embargo, que lo esencial no es que los estudiantes sean capaces de dar abundantes y valiosos argumentos sobre el interés de la situación planteada, sino que se modifique la actitud con que enfocan la tarea, haciéndola más relevante, menos “ejercicio escolar”.

El profesor tiene, claro está, un papel esencial en esta discusión: le corresponde resaltar y “amplificar” los argumentos dados por los estudiantes y añadir otros, intentando relacionarlos con los que ellos han utilizado. Así, la idea de que “se trata de un movimiento habitual en la vida cotidiana” puede dar lugar a que el profesor resalte algunos aspectos como, en primer lugar, la importancia de recurrir a un movimiento muy común, relativamente simple y fácil de reproducir, para comenzar a estudiar la validez de los conceptos introducidos hasta aquí. Se puede insistir, a ese respecto, en que los investigadores comienzan, en general, con el planteamiento de situaciones sencillas, acotadas, para pasar después a otras más complejas. Si queremos conocer un movimiento con importantes aplicaciones prácticas como el lanzamiento de un proyectil (por citar un ejemplo habitualmente mencionado por los estudiantes), es conveniente comenzar por la situación más elemental, que es, precisamente, la de su caída desde una cierta altura.

Por otra parte, el hecho de que se trate de un movimiento reiteradamente observado permite también hacer una predicción “inquietante”: su estudio permitirá constatar –puede anunciarse a los estudiantes– que muchas cosas que nos son familiares resultan sistemáticamente mal interpretadas. Ello les aproximará a una característica esencial de la actividad científica: la necesidad de cuestionar lo que parece obvio, evidente, “de sentido común”. Hemos podido comprobar que una predicción como ésta, realizada con cierto énfasis, genera un cierto “suspense” y refuerza el interés del trabajo que se va a realizar.

Cabe señalar, por último, que al evaluar la nueva orientación de los trabajos prácticos, los estudiantes valoran muy positivamente esta reflexión inicial y la consideran uno de sus elementos más importantes y motivadores.

Análisis cualitativo inicial de la situación y precisión del problema

La discusión acerca de la importancia del estudio planteado contribuye, como ya hemos señalado, a que los estudiantes comiencen a formarse una concepción preliminar de la situación problemática. Ello les permite ahora –sin la brusquedad que supone “entrar en materia” directamente– realizar un análisis cualitativo más detenido, que les ayude a acotar la situación y transformarla en un problema preciso. A tal objeto se puede plantear la siguiente actividad:

A.2. Teniendo en cuenta las experiencias cotidianas, ¿qué puede decirse, a título de primeras conjeturas, acerca del movimiento de caída de los cuerpos?

En la discusión con los alumnos aparecen dos núcleos de ideas:

- 1) Muchos de ellos piensan que cuanto mayor sea la masa del cuerpo, más rápidamente llegará al suelo, aunque algunos otros puedan cuestionarlo, porque *recuerdan* haber estudiado en algún curso precedente que el tiempo de caída es independiente de la masa.
- 2) Se trata de un movimiento de velocidad creciente, tal vez uniformemente acelerado.

Conviene centrarse, en primer lugar, en la hipótesis de la influencia de la masa. Como vemos, el debate ha permitido sacar a la luz, de un modo natural, las preconcepciones que tienen los alumnos sobre el fenómeno estudiado. Diversas investigaciones han mostrado, en efecto, lo persistente que resulta la creencia, en estudiantes de distintos niveles de enseñanza, acerca de que la rapidez de la caída depende de la masa del cuerpo. Pero estas

preconcepciones adquieren ahora el estatus de hipótesis que deben ser sometidas a prueba y, en caso de verse falsadas, sustituidas por otras, etc.

Cuando se pide a los estudiantes que fundamenten su hipótesis, avanzan argumentos que pueden ser parcialmente ciertos (como “el cuerpo que pesa más es atraído con una fuerza mayor”), pero que conducen a conclusiones incorrectas por incurrir en “reduccionismo funcional” (es decir, por no tener en cuenta otras posibles consecuencias de la modificación de la masa). El argumento principal, sin embargo, es la experiencia reiterada de ver caer, en general, lentamente a objetos muy ligeros y más rápidamente a los más pesados. Es esta “evidencia” la que se impone, y la que merece ser cuestionada, sin detenerse, por ahora, en mayores fundamentaciones, que obligarían a consideraciones dinámicas prematuras y podrían debilitar el muy conveniente “choque” producido por la falsación de la hipótesis.

A.3. Procedan a contrastar las hipótesis acerca de la influencia o no de la masa en el tiempo de caída.

La experiencia que consiste en dejar caer dos cuerpos “pesados” que tienen masas muy diferentes permite a los estudiantes constatar que, en general, el tiempo de caída no depende de la masa, al menos de modo esencial. Pero se plantea también la discusión de por qué cuerpos “muy ligeros”, como una hoja de papel, una pluma, etc., caen tan lentamente, haciendo surgir la idea de que ello sea debido a la fricción con el aire. Conviene, pues, proponer la siguiente actividad:

A.4. Diseñen distintas experiencias para mostrar que, si se hace despreciable la fricción con el aire, todos los cuerpos caen prácticamente en el mismo tiempo.

Los alumnos sugieren, a menudo, la utilización de un tubo largo de vidrio del cual se pueda extraer el aire. Galileo no pudo realizar esta experiencia porque en aquella época aún no se había construido la bomba de vacío, y tampoco hoy muchas escuelas cuentan con tales bombas y con el tubo de vidrio adecuado para realizarla. Ello obliga a solicitar otros diseños, aunque valorando como se merece esta propuesta de los estudiantes, que constituye la forma de contrastación más directa.

Los estudiantes proponen entonces diversos e ingeniosos diseños para reducir la fricción de, por ejemplo, una hoja de papel con el aire, similares a los que recoge la historia de la ciencia: colocar la hoja de papel sobre un libro y dejarlos caer; hacer caer verticalmente la hoja de papel colocándola, para ello, junto a un libro también vertical; “arrugar” la hoja de papel hasta transformarla en una pequeña esfera. Los tres diseños, y particularmente el último, llevan a la conclusión de que, en ausencia de resistencia del aire, el tiempo de caída es independiente de la masa de los cuerpos.

Los estudiantes se han visto obligados, pues, a *modificar* su hipótesis inicial y, al propio tiempo, a *replantear* la investigación, acotándola con mayor precisión: ahora se trata de estudiar la caída de los cuerpos en ausencia de resistencia del aire (o cuando ésta es despreciable). Esto es algo que merece ser resaltado, pues es una buena ocasión para que perciban el carácter no lineal de una investigación.

Nos ocuparemos, en lo que sigue, de la segunda de las hipótesis inicialmente formuladas, teniendo ahora en cuenta las precisiones introducidas sobre la ausencia de resistencia del aire.

Operativización de la hipótesis acerca de que el movimiento de caída de los cuerpos es uniformemente acelerado

Dado que no podemos medir directamente la aceleración de caída para comprobar si es constante o no, es necesario *derivar consecuencias contrastables*, que hagan dicha hipótesis operativa:

A.5. Deduzcan, a partir de la hipótesis de que la caída de los cuerpos tiene lugar con aceleración constante, alguna consecuencia directamente contrastable.

Esta derivación implica el manejo del cuerpo de conocimientos disponible, poniendo de manifiesto, una vez más, el importante papel que éste juega a lo largo de toda la investigación. Los estudiantes, tras concluir que las únicas medidas directas posibles, en el estudio de un movimiento, son las de distancias y tiempos, y habiendo deducido ya las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado, recurren a la ecuación $e = 1/2at^2$, para el caso de que la velocidad inicial sea cero. La hipótesis operativa es, pues, que la relación entre los tiempos t de caída desde distintas alturas y los valores h de dichas alturas podrá ser descrita mediante la ecuación $h = kt^2$.

Otra variante para operativizar la hipótesis consiste en construir el gráfico $v = f(t)$ con el fin de comprobar si es una línea recta. Ello remite también, por supuesto, a medidas de distancias y tiempos, pero resulta conveniente mostrar que existen distintos caminos de contrastación, distintas consecuencias contrastables.

Elaboración de estrategias para someter a prueba las hipótesis formuladas

A.6. Diseñen experimentos para contrastar la hipótesis de que el movimiento de caída de los cuerpos es uniformemente acelerado.

Los estudiantes, de entrada, suelen proponer dejar caer una pequeña esfera, para evitar al máximo el rozamiento, desde distintas alturas y medir en cada caso el tiempo empleado en caer para ver si los valores obtenidos se ajustan a la relación prevista. Es necesario hacerles notar que los tiempos de caída son tan pequeños que no es posible realizar medidas precisas de los mismos en esas condiciones. Conciben entonces la posibilidad de fotografiar la caída de la esfera, al lado de una cinta métrica, “con una cámara que dispare automáticamente a intervalos de tiempo regulares y muy breves”. Éste es un procedimiento que se ha utilizado, con buenos resultados, –conviene indicar a los estudiantes a modo de refuerzo de sus planteamientos–, recurriendo a fotografías estroboscópicas.

La idea de la automatización aparece como algo básico para evitar los problemas de coordinación entre el instante de soltar la esfera y la puesta en marcha del cronómetro. En ese sentido surge también la propuesta de utilizar relojes electrónicos, que se pongan en marcha al soltarse la esfera y se paren al chocar ésta contra un tope.

Aquí es pertinente señalar que en calidad de reloj electrónico puede emplearse un ordenador, lo que permitiría, además, elevar el nivel de automatización en la realización del experimento (Guisasola et al., 1999). En particular, teniendo en cuenta su capacidad para almacenar datos en memoria, parece lógico intentar, utilizando determinados sensores, el registro de las distancias y los tiempos en un movimiento único, evitando así la necesidad de repetir varias veces las experiencias de caída. Por otra parte, el disponer de los datos en la memoria del ordenador posibilitaría, mediante un programa informático,

elaborado al efecto o profesional, el procesamiento inmediato de ellos. Estas ideas merecen ser resaltadas como ejemplos de aproximación a los actuales *principios tecnológicos de la automatización de experimentos*, lo cual debe constituir uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias en la actualidad (Valdés y Valdés, 1994).

Pese al interés de las propuestas precedentes, conviene hacer notar a los estudiantes que en la época de Galileo no se disponía, obviamente, de medios adecuados ni para la medida precisa de los tiempos ni para la automatización. Ello le llevó a concebir la posibilidad de “debilitar” la caída, haciéndola más lenta. Se trataba de imaginar algún movimiento asociado a la caída de los cuerpos pero que tuviera lugar más lentamente (sin para ello, claro está, introducir fricción). Esto constituye una estrategia ingeniosa para “salir del impase” y merece la pena que los estudiantes se planteen dicha tarea como un ejemplo de la creatividad que exige, en todo momento, el desarrollo de una investigación.

A.7. Conciben varios procedimientos para “debilitar” la caída de los cuerpos, pero sin desvirtuar su naturaleza de caída en ausencia de fricción.

Cabe señalar que, en ocasiones, algunos estudiantes conocen ya el experimento del plano inclinado, de aquí que la actividad solicite *varios* procedimientos. Los estudiantes encuentran serias dificultades para imaginar un diseño adecuado, y sus primeras propuestas suelen incluir fuerzas de resistencia (“dejar caer la esferita en un tubo lleno de un líquido viscoso”, “colgar la esferita de un pequeño paracaídas...”). La discusión de estas propuestas y la insistencia del profesor en que se trata de lograr que el cuerpo caiga más lentamente *sin introducir* fuerzas de resistencia al movimiento conduce, sin embargo, a propuestas adecuadas –además de dejar caer la esferita por un plano inclinado– como, por ejemplo, colgar dos masas iguales de los extremos de un cordel que pasa por una polea sin rozamiento apreciable y colocar una pequeña sobrecarga en uno de los extremos. Otro diseño parecido y habitualmente propuesto consiste en utilizar un carrito que pueda moverse por un plano horizontal con fricción despreciable, del que tira –con ayuda de una cuerda y polea fija al extremo del plano– un pequeño cuerpo que cae verticalmente.

Es preciso insistir en que merece la pena tener algo de paciencia y permitir a los estudiantes que lleguen a concebir estos diferentes diseños, pues ello constituye una excelente ocasión para que entren en contacto con una de las tareas más creativas y satisfactorias del trabajo científico (lamentablemente escamoteada en las prácticas habituales, cuyo diseño se da ya elaborado). Una tarea que, como ya hemos señalado, pone de relieve el papel central de la tecnología en el desarrollo científico.

Se puede proceder ahora a realizar *alguno* de los experimentos diseñados sin el peligro de que sean vistos como tareas tediosas, sin interés y sin vinculación con lo que es la ciencia actual.

Planificación y realización de los experimentos

Aunque al llegar a este punto se posee ya una concepción general de los diseños, ello no significa que ahora quede una actividad puramente manipulativa.

A.8. Realicen el experimento relativo a la caída de una esferita por un plano inclinado.

Incluso en un diseño tan elemental como éste, desde el punto de vista técnico, surgen numerosos problemas que deben ser resueltos. Por ejemplo, ¿cómo soltar la esfera para no comunicarle velocidad inicial?, o ¿cómo coordinar el inicio y final del movimiento con la

puesta en marcha y detención del cronómetro? La dificultad de esta coordinación –que se traduce en dispersiones muy significativas de los tiempos, dada su brevedad– hace ver la conveniencia de automatizar el proceso, por ejemplo, con ayuda de un ordenador. Esto requiere –si los estudiantes carecen de experiencia en este campo– una intervención mucho más directa del profesor, pero la comprensión básica de los montajes y del programa informático requerido está al alcance de los estudiantes y permite la vinculación de esta investigación con elementos fundamentales de la tecnología moderna.

Utilizando la función TIMER del lenguaje BASIC, por ejemplo, es posible medir intervalos de tiempo con exactitud de unas cinco centésimas de segundo, lo que sería suficiente en el caso de la caída por un plano inclinado, y mediante un programa convenientemente elaborado dicha exactitud puede llegar hasta 10^{-5} s (Valdés y Valdés, 1998). La entrada de información digital al ordenador se efectúa empleando sencillos interruptores: por ejemplo, la esfera puede estar cerrando inicialmente un circuito conectado al ordenador, y al soltarla, es decir, al abrir el circuito, se pone en marcha el reloj, luego, cuando choca contra un tope móvil, provocando la apertura de otro circuito, se realiza la lectura del tiempo transcurrido. El registro de la información puede hacerse a través del puerto de juegos mediante la función INP.

No es necesario, sin embargo, proceder en este momento a un estudio detenido de todo el proceso de automatización, programas informáticos, etc. Ello constituye, en sí mismo, una investigación tan exigente o más que el estudio del movimiento a que estamos procediendo. Por eso puede ser más adecuado aquí limitarse a *utilizar* los medios disponibles y dejar planteado, como perspectiva futura, el estudio detenido de sus fundamentos, aplicaciones generales, etc. Se trataría, pues, de presentar brevemente a los estudiantes el montaje que va a utilizarse –siguiendo su propuesta de automatización– y pedirles la realización del experimento, que ahora puede ser, directamente, la caída vertical, gracias a la mayor precisión alcanzada en la medida de los tiempos.

A.9. Lleven a cabo el experimento relativo a la caída vertical, automatizando las mediciones de tiempo con ayuda de un ordenador.

Por último, si se dispone del equipo que permita obtener la fotografía estroboscópica, se puede proceder a la realización de este experimento, aunque plantea dificultades que no son fáciles de resolver en el aula. Es posible, sin embargo, proporcionar a los estudiantes la fotografía obtenida “por otros investigadores”.

A.10. La figura que se proporciona muestra la fotografía estroboscópica de una esferita que se dejó caer desde cierta altura. Procedan a la construcción de una tabla de las posiciones, e , que va ocupando la esferita, en función del tiempo, t .

Los estudiantes han de efectuar la lectura cuidadosa de las distancias recorridas por la esferita (con ayuda de la cinta métrica que aparece en la misma foto) y el cálculo de los tiempos correspondientes.

Ésta puede ser una buena ocasión para recordar que la verificación de una hipótesis implica, en general, el trabajo de numerosos equipos, y que no tiene sentido pensar que un solo equipo ha de realizar todos los experimentos posibles. Lo que sí es necesario es poner en común los distintos resultados obtenidos y constatar en qué medida son coherentes entre sí. Ello nos remite, pues, al análisis de los resultados.

Análisis y comunicación de los resultados y de las perspectivas abiertas

A.11. Analicen e interpreten los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

Para procesar los datos obtenidos también puede emplearse algún programa informático, por ejemplo, tabuladores electrónicos como *Excel* o *Microcal Origin*. Los resultados conseguidos con el plano inclinado utilizando un cronómetro manual parecen ajustarse a la relación $e = kt^2$, aunque con elevados márgenes de imprecisión. La automatización de la medición del tiempo mejora muy sensiblemente esos resultados, incluso para la caída vertical desde pequeñas alturas. En este caso el gráfico de $e = f(t^2)$ es una clara línea recta, sin apenas desviaciones. Lo mismo ocurre con los valores que se obtienen a partir de la fotografía estroboscópica.

Se puede ir un poco más lejos en el análisis de los resultados y solicitar a los estudiantes que determinen el valor de la aceleración de caída libre y lo cotejen con el que se proporciona en los libros de texto.

A.12. Determinen el valor de la aceleración de caída libre de un cuerpo a partir de los datos obtenidos.

Los valores obtenidos para esta aceleración son, en general, muy próximos al valor aceptado por la comunidad científica, lo que tiene un efecto particularmente motivante para los estudiantes.

Todos los resultados apoyan, pues, la hipótesis de la aceleración de caída constante. Ésta era, por lo demás, la hipótesis inicial. Podría pensarse, por ello, que quizás no era necesario un tratamiento tan detenido y que una simple verificación con un único experimento bastaba. Sin embargo, es preciso dejar bien patente que la aceptación de un resultado por la comunidad científica tiene muy serias exigencias que obligan a la obtención de una multiplicidad de resultados en distintas situaciones y a mostrar la coherencia de todos ellos. Ésta es la mejor forma de romper con aceptaciones acríticas de las “evidencias de sentido común” como, por ejemplo, la creencia de que los cuerpos caen tanto más aprisa cuanto mayor es su masa. Debemos ser conscientes, a este respecto, de que, aunque dicha hipótesis ha sido claramente falsada con los experimentos realizados en la primera parte de esta investigación, la superación permanente de estas ideas espontáneas no puede ser el resultado de algunos experimentos como los realizados, sino que exige la adquisición de un cuerpo de conocimientos coherente y global y, más aún, una nueva forma de razonar, de enfrentarse a los problemas.

De hecho, los estudiantes no pueden explicarse por qué cuerpos de distinta masa caen con la misma aceleración; y no lo harán mientras no se apropien del sistema de conceptos de la mecánica newtoniana. Por ello, a pesar de los resultados obtenidos en esta investigación, bastantes estudiantes vuelven a utilizar sus esquemas iniciales en cuanto se varía ligeramente el contexto. Dicho de otro modo, los cambios conceptuales no se producen con tratamientos puntuales, sino como resultado de la adquisición de un cuerpo de conocimientos capaz de desplazar, de forma global, las concepciones iniciales. Esto es algo que debe quedar claro al discutir las perspectivas abiertas por la investigación.

A.13. Consideren las perspectivas abiertas por esta investigación susceptibles de originar nuevos estudios.

Muchas de las perspectivas han sido consideradas ya en los momentos oportunos durante el desarrollo de la investigación, pero al finalizar ésta conviene recapitularlas. Podemos referirnos así, entre otras tareas que han quedado pendientes, a:

- explicar el hecho de que, en ausencia de resistencia del aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración;
- extender la investigación al estudio de otros movimientos de interés práctico, como el de los proyectiles;
- investigar los factores de los cuales depende la fuerza de resistencia que ofrece el aire durante la caída de un cuerpo;
- diseñar dispositivos que permitan elevar el nivel de automatización del registro de posiciones y tiempos durante el movimiento de un cuerpo, profundizando en las características de distintos tipos de sensores y en el funcionamiento, a este respecto, de un ordenador, diseñando sencillos programas que posibiliten el registro de información digital, etc.

Conviene, por último, que los estudiantes recojan el trabajo realizado en una memoria de la investigación, planteada como práctica de un aspecto esencial de la actividad científica: la comunicación.

A.14. Elaboren una memoria de la investigación realizada, destinada a ser publicada en las actas del curso.

Es preciso dar a esta actividad el sentido de la auténtica comunicación científica, superando su connotación habitual de simple ejercicio escolar, destinado a ser calificado por el profesor. En este sentido, puede ser muy conveniente hacer jugar el papel de “referees” a cada grupo de estudiantes, dándoles a analizar un cierto número de memorias para que sugieran modificaciones a los autores, etc. La “publicación” de unas actas del trabajo realizado durante el curso y la organización de sesiones de comunicación oral (con ayuda de transparencias, videos, simulaciones, etc.) y de sesiones “póster”, contribuye a dar interés a este esfuerzo de comunicación, además de proporcionar una visión más correcta del trabajo científico, buena parte del cual está centrado en dicha comunicación.

Recapitulación del estudio realizado acerca de la caída de los cuerpos

La orientación de los trabajos prácticos que hemos ilustrado con este ejemplo pretenden que los estudiantes se familiaricen con la extraordinaria riqueza de la actividad científica, superando los reduccionismos habituales. Es conveniente, por ello, terminar solicitando una *recapitulación de los aspectos más destacados del tratamiento realizado*, con objeto de favorecer una meta-reflexión que refuerce la apropiación consciente de las estrategias del trabajo científico.

Puede ser conveniente también que los profesores procedamos a dicha recapitulación en cada práctica que preparemos, tanto para poder apoyar la que realicen los estudiantes como para analizar si el programa de actividades, diseñado para dirigir la investigación, es adecuado para proporcionar una visión de la ciencia como actividad abierta y creativa.

Invitamos a los lectores a realizar dicha recapitulación para el ejemplo que hemos transcrito, con la esperanza de que el resultado les parezca una propuesta inicialmente aceptable y suficientemente abierta para permitir su apropiación personal y perfeccionamiento, en un proceso que convierte también el trabajo docente en una actividad investigadora.

Antes de finalizar el capítulo queremos llamar la atención sobre otro tipo de “prácticas”, destinadas al diseño y elaboración de productos tecnocientíficos *que han de funcionar*, y que poseen un gran poder motivador para los estudiantes (¡y profesores!), por su naturaleza de reto, de problema abierto que va más allá de lo puramente escolar.

Se trata de tareas que pueden contribuir a introducir y manejar conceptos de forma sencilla y atractiva y que permiten aprovechar en el aula algunas de las características más positivas de una educación científica no formal: elaboración de productos, a partir de materiales de fácil acceso y como respuesta a problemas tecnocientíficos de interés, a menudo destinados a ser presentados en sesiones abiertas a un público amplio, etc.

DISEÑO Y ELABORACIÓN POR LOS ESTUDIANTES DE PRODUCTOS TECNOCIENTÍFICOS SENCILLOS

Comenzaremos proponiendo un ejemplo de experiencia elemental que puede poner en funcionamiento conocimientos y habilidades tecnocientíficas:

Propuesta de trabajo

¿Cómo conseguir que un objeto se sumerja en el agua y emerja a voluntad nuestra?

Conviene comenzar discutiendo el *interés de la cuestión planteada*, lo que lleva a los estudiantes a referirse a los submarinos, al ascenso y descenso de algunos peces, etc.

Después les planteamos que *indiquen en qué podríamos basarnos* para lograr dicho ascenso y descenso. En respuesta a esta cuestión, los alumnos sugieren, entre otras propuestas, que ello puede lograrse modificando la densidad del objeto, haciendo que entre agua en el mismo o sacándola fuera.

A continuación se trata de que *conciban algún montaje sencillo*. Algunos estudiantes proponen llevar esto a la práctica mediante un montaje que hemos esquematizado en la **figura 1**.

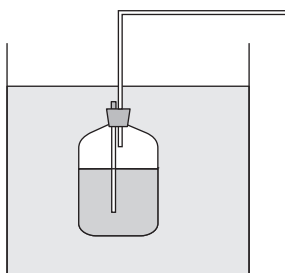


Figura 1. Ilustración del funcionamiento de un submarino

Como puede verse, el montaje consiste, básicamente, en sumergir en el agua un frasco de vidrio con un tapón provisto de dos orificios. De uno de ellos sale un tubo largo de goma hacia fuera (para poder soplar o aspirar). El otro orificio es atravesado por un tubo que llega al fondo del frasco. Al soplar por el tubo de goma, el agua sale del frasco y se llena de aire, por lo que su densidad disminuye y asciende. Y si aspiramos, entra el agua y el “submarino” desciende. Naturalmente, en un submarino real el procedimiento será otro, pero el principio es semejante: llenar o vaciar los tanques de que va provisto con agua del mar. El diseño propuesto por los estudiantes puede llevarse a la práctica y funciona muy bien. Pero es interesante también plantear otro diseño, que se inspira en el “Ludión” o “*Diablillo de Descartes*”, esquematizado en la **figura 2**.

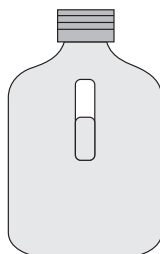


Figura 2. Esquema del “Diablillo de Descartes”

Como puede verse, es posible construir el ludión introduciendo, en un frasco o botella de plástico transparente, un tubito de ensayo invertido parcialmente lleno de agua, de forma que su densidad resulte algo menor que la del agua y quede flotando. Si cerramos la botella y la presionamos ligeramente, el tubito se hunde, mientras que si cesamos la presión emerge de nuevo.

Éste no es un diseño que los estudiantes conciban por ellos mismos, por lo que habrá que detenerse en **discutir su funcionamiento** y que lleguen a comprender que, al presionar la botella, el aumento de presión en su interior hace que el aire del tubito se comprima, entrando algo más de líquido, con lo que la densidad aumenta y el tubo se hunde. Conviene, pues, pedirles que intenten explicar con detalle por qué el tubo de ensayo desciende al presionar la botella.

Ello da lugar a referencias al principio de Pascal, a las propiedades de los gases (relación presión-volumen) y a la flotabilidad (asociada al principio de Arquímedes y a la diferencia de densidades).

Por otra parte, su realización práctica es relativamente sencilla y el resultado es realmente atractivo. Se trata, pues, de una experiencia muy recomendable, que pone en juego toda una serie de conceptos que podemos resumir en las siguientes **palabras clave**: densidad, flotabilidad, Principio de Arquímedes, propiedades de los fluidos, Principio de Pascal, compresibilidad de los gases.

Insistimos en la conveniencia de realizar numerosas experiencias tecnocientíficas como la que acabamos de presentar, tanto por su efecto motivador como por la ocasión que proporcionan de integrar conocimientos a partir de situaciones problemáticas de interés.

Propuesta de trabajo

Los profesores solemos tener acceso a experiencias sencillas que son susceptibles de interesar a los estudiantes por sus resultados sorprendentes, por la posibilidad que les brindan de poner en práctica su inventiva, etc., y que contribuyen decisivamente a un mejor aprendizaje. Elaboren listados de tales experiencias con objeto de preparar un fondo común y de ir poniéndolas en práctica.

Estas experiencias pueden plantearse en forma de preguntas en torno a cómo mostrar o conseguir algo concreto, pero también en forma de “por qué” o con formato “periodístico”, para mejor atraer la atención.

Se trata de pedir a los estudiantes (y previamente, por supuesto, plantearse los mismos profesores) que conciban distintos procedimientos para resolver el problema planteado, explicando con algún detalle la forma de proceder, los conocimientos científicos implicados, las relaciones CTSA vinculadas, etc., pero poniendo el acento en la realización práctica, en el correcto funcionamiento del diseño y en la presentación “al público”.

Damos a continuación, a título de ejemplo, una relación de preguntas que hemos utilizado para proponer a los estudiantes este tipo de experiencias:

1. ¿Cómo mostrar que los gases ocupan un volumen?
2. ¿Cómo trasvasar aire de un recipiente a otro?
3. ¿Cómo mostrar que los gases pesan?
4. ¿Cómo mostrar que la atmósfera ejerce una gran presión?
5. ¿Cómo mostrar la influencia de la temperatura sobre la presión de los gases?
6. ¿Cómo hacer saltar una moneda indefinidamente sobre el cuello de una botella?
7. ¿Cómo inflar un globo sin soplar?
8. ¿Cómo mostrar de una forma llamativa la influencia de la cantidad de gas sobre la presión que ejerce?
9. ¿Cómo mostrar la gran influencia de la presión sobre el volumen de un gas y viceversa?
10. ¿Cómo conseguir que el humo descienda en lugar de que ascienda?
11. ¿Cómo hacer que una botella se trague un huevo cocido?
12. ¿Cómo hacer subir el agua que llena un plato por una botella o vaso puesto boca abajo?
13. ¿Cómo evitar que una botella llena de agua y sin tapón se vacíe al darle la vuelta?
14. ¿Cómo evitar que el agua de un vaso caiga al darle la vuelta (sin ponerle una tapa)?
15. ¿Cómo conseguir que una botella de plástico e incluso una lata de refresco se aplaste sin que la comprimamos?
16. ¿Cómo conseguir que un objeto se sumerja en el agua y emerja a voluntad nuestra?

17. ¿Cómo podemos hacer subir o bajar, a voluntad, un pequeño objeto dentro de una botella de agua?
18. ¿Cómo “vencer” un martillo con una hoja de periódico?
19. ¿Cómo perforar una patata cruda con una pajita?
20. Colocar una bola de papel dentro del cuello de una botella horizontal y soplar hacia dentro. ¿Qué pasará?
21. Llenamos dos embudos iguales con agua. ¿Cómo lograr que uno de ellos se vacíe más deprisa?
22. ¿Cómo hacer que una porción de aceite se transforme en esfera?
23. ¿Cómo pinchar un globo sin que explote?
24. ¿Cómo hacer que una aguja flote en la superficie del agua?
25. ¿Cómo conseguir que una hoja de papel caiga tan rápidamente como un objeto pesado?
26. ¿Cómo conseguir, en una fila de monedas iguales, que una salga lanzada sin que las otras se muevan? ¿Y dos?
27. ¿Cómo construir una nave voladora con dos vasos de corcho blanco?
28. ¿Cómo saber si un huevo está cocido o no?
29. ¿Cómo hacer que un huevo flote en un vaso de agua?
30. ¿Cómo hacer que flote un objeto más denso que el agua, como la plastilina?
31. ¿Cómo hacer bailar unas pasas con la ayuda de un agua tónica?
32. ¿Cómo hacer que una naranja deje de flotar en el agua?
33. ¿Cómo conseguir, con dos tenedores y un trozo de pan, un “móvil” capaz de guardar el equilibrio?
34. ¿Cómo conseguir, con tres palillos, un “móvil” capaz de guardar el equilibrio?
35. ¿Cómo construir, con una hoja de papel, un objeto capaz de ponerse de “pie”?
36. ¿Cómo conseguir que al tirar de un objeto en una dirección se vaya en la contraria?
37. ¿Cómo lanzar un proyectil sin utilizar sustancias peligrosas?
38. ¿Cómo construir una “catapulta” con dos pinzas de tender la ropa?
39. ¿Cómo lanzar un objeto mediante un globo?
40. ¿Cómo lanzar un objeto mediante una pajita?
41. ¿Cómo lanzar un objeto mediante una aspirina efervescente?
42. ¿Cómo hacer que las llamas de dos velas se atraigan?
43. ¿Cómo sacar una pelota de “ping-pong” del interior de una taza por medio de una pajita (pero sin tocarla)?
44. ¿Cómo hacer que una pelota de “ping-pong” se mueva, flotando en el aire, en la dirección que queramos, sin que caiga?
45. ¿Cómo elevar una pelota de “ping-pong” soplándola hacia abajo?
46. ¿Cómo “contagiar” la oscilación de un péndulo a otro péndulo (sin tocarlo)?

47. ¿Cómo conseguir que una pelota dé un gran salto, dejándola caer sin impulsarla?
48. ¿Cómo hacer que un "CD" se desplace sin fricción sobre una superficie?
49. Tenemos una regla apoyada sobre los dedos índices de ambas manos. Intentar desplazar el índice de una mano, por debajo de la regla, hasta donde está el otro dedo índice. Explicar lo que ocurre.
50. ¿Cómo lograr que la fricción de nuestra mano sobre la superficie de una mesa sea tan alta que no podamos desplazarla sobre la misma?
51. ¿Cómo lograr que la fricción entre las palmas de nuestras manos sea tan alta que no podamos desplazar una sobre la otra?
52. ¿Cómo hacer que un bote cilíndrico, lanzado a rodar sobre una superficie, se pare rápidamente mientras otro bote igual (y del mismo peso) continúe girando?
53. ¿Cómo conversar con una persona muy alejada sin que nos escuchen los demás y sin utilizar teléfonos comerciales?
54. ¿Cómo oír más intensamente el sonido que se obtiene al golpear una cuchara con otra?
55. ¿Cómo hacer sentir la vibración de una voz?
56. ¿Cómo hacer callar un cascabel (es decir, que no se oiga aunque lo agitemos)?
57. ¿Cómo hacer cantar un tubo flexible de plástico?
58. ¿Cómo hacer cantar una copa?
59. ¿Cómo hacer que una copa cante más o menos agudo?
60. ¿Cómo conseguir tener papel en contacto con una llama sin que se quemé?
61. ¿Cómo levantar un cubito de hielo con un cordel sin atarlo?
62. Quemar la parte superior de un cilindro de papel (por ejemplo, una bolsita de infusión vacía) puesto verticalmente. ¿Qué pasará? ¿Por qué?
63. ¿Cómo ver las cosas hacia abajo sin lentes ni espejos?
64. ¿Cómo ver por encima de un obstáculo?
65. Un vaso opaco nos impide ver la moneda que reposa en su fondo. ¿Cómo conseguir verla sin acercarnos más?
66. ¿Cómo podemos ver blanco algo pintado de colores?
67. ¿Cómo podemos hacer creer que hemos doblado una cucharilla?
68. ¿Cómo hacer ver el arco iris sin necesidad de lluvia?
69. ¿Cómo conseguir fuego con los rayos del Sol?
70. ¿Cómo hacer bailar un fino chorrillo de agua obtenido abriendo un grifo?
71. ¿Cómo lograr que una regla de plástico gire "huyendo" de otra regla de plástico?
72. ¿Cómo hacer saltar unos pequeños muñequitos de papel?
73. ¿Cómo conseguir que un globo hinchado se quede en el techo?

ALGUNAS CONCLUSIONES

Terminamos aquí este capítulo dedicado a la reorientación del trabajo experimental, de acuerdo con el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada que avanzamos en el capítulo 2. Una reorientación basada en el cuestionamiento de las concepciones empiro-inductivistas y demás distorsiones de la naturaleza de la actividad científica y, al propio tiempo, en un esfuerzo por incorporar plenamente dicho trabajo experimental, tan insuficientemente presente, habitualmente, en la enseñanza de las ciencias.

Los docentes, en general, valoran de forma muy positiva el enfoque de las prácticas de laboratorio como investigaciones, rompiendo con su habitual orientación como “recetas de cocina”. Pero esta relativa facilidad para aceptar la transformación de los trabajos prácticos sigue escondiendo, en nuestra opinión, una visión reduccionista de la actividad científica, que asocia prioritariamente investigación a trabajo experimental, lo que ha actuado como obstáculo en la renovación de otros aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, como, muy concretamente, la resolución de problemas o la forma en que se introducen los conceptos. Es importante por ello abordar con mayor detenimiento las aportaciones de la investigación didáctica en estos otros campos, lo que haremos en los **capítulos 5 y 6**. Pasaremos ahora a estudiar, en el capítulo 5, la necesaria transformación de los problemas de lápiz y papel.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Capítulo 1: "Las prácticas de laboratorio como interés básico de los alumnos y profesores de ciencias").

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.

Referencias bibliográficas en este capítulo

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

BARBERÁ, O. y VALDÉS, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.

BUNGE, M. (1976). *La Investigación Científica*. Barcelona: Ariel.

GARDNER, P. L. (1994). Representations of the relationship between Science and Technology in the curriculum. *Studies in Science Education*, 24, 1-28.

GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

GIL-PÉREZ, D., NAVARRO, J. y GONZÁLEZ, E. (1993). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado (II). Una experiencia de transformación de las prácticas del ciclo básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(1), 33-47.

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.

GIORDAN, A. (1978). Observation-Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. Traducción española en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, número 13.

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 Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.

GONZÁLEZ DE LA BARRERA, L. (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 Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València.

GRAU, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 27-35.

GUISASOLA, J., BARRAGUÉS, J., VALDÉS, P., VALDÉS, R. y PEDROSO, F. (1999). La resolución de problemas en el laboratorio y la utilización del ordenador *Revista Española de Física*, 13(3), 62-65.

HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, M.A.: Cambridge University Press. Traducción de S. García (1996): *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM; Instituto de Investigaciones Filosóficas, México D. F.: UNAM/Paidós.

- HANSON, N. R. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, M.A.: Cambridge University Press. Traducción de E. García Camarero (1977): *Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- 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. (1993). Re-thinking old ways: towards more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 47-56.
- 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*. Nueva York: McMillan Pub Co.
- LILLO, J. (1994). Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 47-56.
- LUNETTA, V. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. En Fraser, B. y Tobin, K. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, London: Kluwer Academic Publishers, 249-262.
- MAIZTEGUI, A., ACEVEDO, J. A., CAAMAÑO, A., CACHAPUZ, A., CAÑAL, P., CARVALHO, A. M. P., DEL CARMEN, L., DUMAS CARRÉ, A., GARRITZ, A., GIL-PÉREZ, D., GONZÁLEZ, E., GRAS MARTÍ, A., GUIASOLA, J., LÓPEZ CERERO J. A., MACEDO, B., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., MORENO, A., PRAIA, J., RUEDA, C., TRICÁRICO, H., VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- NIEDA, J. (1994). Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en la Enseñanza Secundaria. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 15-20.
- PAYÁ, J. (1991). Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- SALINAS, J. (1994). Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València.
- SALINAS, J. y COLOMBO DE CUDMANI, L. (1992). Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 10-17.
- 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(1), 3-12.
- VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 412-415.
- VALDÉS, R. y VALDÉS, P. (1998). Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante computadoras: determinación de la velocidad del sonido en el aire. *Revista Española de Física*, 12, 33-38.
- WATSON, J. (1994). Diseño y realización de investigaciones en las clases de Ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 57-65.