

---

# PAPEL DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA<sup>+\*1</sup>

---

*Jaime Carrascosa*

*Daniel Gil Pérez*

*Amparo Vilches*

Universitat de València

València – Espanha

*Pablo Valdés*

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas – Cuba

## Resumen

*La actividad experimental es uno de los aspectos claves en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y, consecuentemente, la investigación sobre este tema constituye una de las líneas más importantes en la didáctica de las ciencias desde hace ya mucho tiempo. Es de agradecer, pues, que Caderno Brasileiro de Ensino de Física (v. 21, Edição Especial, 2004), haya publicado recientemente un monográfico en el que se han reeditado más de 40 artículos sobre actividades experimentales en la enseñanza de la física aparecidos en esta misma revista. Queremos aprovechar la ocasión de reflexión que ello nos brinda para referirnos a una serie de problemas relacionados con este tipo de actividades, sobre los que es preciso seguir investigando. Nos referimos concretamente a cuestiones como las siguientes:*

---

<sup>+</sup> Role of the experimental activity in Scientific Education

<sup>\*</sup> *Recebido: setembro de 2005.  
Aceito: maio de 2006.*

<sup>1</sup> Este artículo ha sido concebido como contribución a la Década de la Educación para un futuro sostenible, instituida por Naciones Unidas para el periodo 2005-2014 (Ver <http://www.oei.es/decada/>).

*¿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, suelen transmitir las prácticas de laboratorio?*

*¿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, como ocurre demasiado a menudo, simples recetas a aplicar?*

*En este trabajo se intenta avanzar en la respuesta a dichas cuestiones, de acuerdo con el modelo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias como investigación orientada, y se presenta, a modo de ejemplo, un trabajo práctico coherente con dicho modelo, correspondiente a la enseñanza de la Física en el nivel de la educación secundaria superior.*

**Palabras clave:** *Características de la actividad científica, visiones deformadas de la ciencia y la tecnología, familiarización de los estudiantes con la actividad científica, renovación de las prácticas de laboratorio, trabajos prácticos como investigaciones.*

### **Abstract**

*Experimental activity is one of the most important factors in Science Education. Hence, research on this issue has been one of the most important lines of work in Science Education for some time now. We, therefore, welcome the recent publication of a monographic issue in Caderno Brasileiro de Ensino de Física (v. 21, Edição Especial, 2004), which includes more than 40 re-edited articles on experimental work in physics teaching that had been previously published in the same journal. We would like to take advantage of the opportunity this article provides to reflect on a series of problems related to this type of work that require further research. We are specifically referring to issues such as the following:*

*What distorted views of scientific activity might experimental work commonly undertaken be transmitting through either action or omission?*

*What image do practical works give of science-technology relationships in particular?*

*What should the role of experimental work be in the learning of Science?*

*How should practical works be re-orientated in order to stop them being used as mere recipes to be applied, as is too often the case?*

*This paper seeks to make progress towards answering these questions in keeping with the model of Science Education as orientated research. A detailed example for upper high school is presented.*

**Keywords:** *Features of scientific activity, distorted views of science and technology, familiarising students with scientific activity, updating laboratory practices, practical work, such as research.*

## **I. Introducción**

En el volumen 21 de Caderno Brasileiro de Ensino de Física (2004, vol. 21, *Edição Especial*), se han reeditado más de 40 artículos sobre prácticas de laboratorio de física aparecidos en esta misma revista a lo largo de su primeros 20 años. Queremos resaltar en primer lugar el interés que supone dicha recopilación de trabajos sobre la actividad experimental, que constituye uno de los aspectos claves en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

En la editorial de este monográfico, se hace referencia a toda una serie de potencialidades de la experimentación cualitativa y cuantitativa afirmando que desarrolla la curiosidad, suscita discusiones, demanda reflexión, elaboración de hipótesis y espíritu crítico, enseña a analizar los resultados y expresarlos correctamente, favorece una mejor percepción de la relación entre ciencia y tecnología, etc.

Estamos totalmente de acuerdo con esas potencialidades, aunque pensamos que deben ser atribuidas a la investigación en general, de la cual la experimentación propiamente dicha es una parte fundamental, pero no la única (GIL-PÉREZ et al., 2005, capítulo 4). Algunos de los artículos iniciales del

monográfico, van también en esa misma dirección, defendiendo que las actividades de laboratorio se planteen como investigaciones en torno a problemas y criticando las orientaciones algorítmicas y empiristas que a menudo se hallan presentes en muchos trabajos prácticos (PINHO ALVES, 2000; BORGES; SÉRÉ et al., 2003). Una crítica que puede extenderse a buena parte del resto de los artículos incluidos, que se limitan a describir la construcción y manejo de distintos instrumentos y montajes experimentales. Por supuesto que ello no le quita interés a los trabajos presentados, que facilitan información esencial para la realización práctica de las experiencias utilizando materiales de bajo costo. Pero consideramos imprescindible mostrar que es posible plantear los trabajos prácticos de laboratorio, de forma que tanto el diseño como la experimentación, queden integradas dentro de una investigación en torno a problemas de interés.

Ello es necesario para salir al paso de todo un conjunto de visiones deformadas sobre la ciencia y la actividad científica, que van más allá de las meramente empiristas, reiteradamente denunciadas (MCCOMAS, 1998; GIL-PÉREZ et al., 2005, capítulo 2) y que las prácticas de laboratorio suelen transmitir. Conviene, pues, profundizar en el análisis de dichas prácticas.

## **II. Análisis crítico de las prácticas de laboratorio habituales**

La idea de buscar en la actividad experimental la superación de una enseñanza puramente libresca y la solución a la falta de interés por el aprendizaje de las ciencias cuenta con una larga tradición (LAZAROWITZ; 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 60/70 se elaboraron y pusieron en práctica numerosos proyectos de aprendizaje “por descubrimiento autónomo”, centrados 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 suelen proponer en la enseñanza, en mayor o menor número, contribuyen a dicha familiarización? Es importante contestar a esta cuestión mediante un cuidadoso análisis de las prácticas habituales, porque cabe sospechar que el problema principal no sea el del número de prácticas realizadas, sino la naturaleza de las mismas.

En los cursos de formación docente que impartimos para profesores en formación y en activo hemos podido constatar que, cuando se favorece una reflexión colectiva previa en torno a las finalidades de la enseñanza de las ciencias y a las características básicas de la actividad científica, es frecuente que quienes habitualmente han concebido los trabajos de laboratorio como simples manipulaciones tomen conciencia de sus insuficiencias y de que dichos trabajos pudieran estar transmitiendo, por acción u omisión, una serie de visiones deformadas sobre la ciencia. 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 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) afirman haber encontrado 37 revisiones del tema entre 1954 y 1990, y éstas han seguido llevándose a cabo durante la pasada década (BARBERÁ; 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; GIL-PÉREZ; NAVARRO; GONZÁLEZ, 1993) y números monográficos sobre el tema en diferentes revistas (por ejemplo: *International Journal of Science Education*, v. 18, n. 7, 1996; *Alambique*, v. 2, 1994; *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, 2004, Edição Especial...) 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; DRIVER, 1987; SALINAS; 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

La concepción empiro-inductivista de la ciencia y del trabajo científico tiene un gran peso 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. Sin embargo, junto a esta concepción, existen otras – como la visión individualista y elitista, la descontextualizada, etc. (GIL-PÉREZ et al., 2005; capítulo 2)– todas ellas relacionadas, que se apoyan mutuamente y transmiten, en conjunto, una visión distorsionada y empobrecida de la ciencia y la tecnología.

Esta visión empobrecida 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, poniendo de relieve la concepción empiro inductivista de la ciencia, así como otras deformaciones igualmente graves. En efecto, no se indican las cuestiones a las que se pretende dar respuesta (lo que contribuye a una visión aporética de la ciencia), ni se discute su posible interés y relevancia social (visión descontextualizada, socialmente neutra), ni se procede a la formulación tentativa de hipótesis susceptibles de ser sometidas a prueba mediante diseños concebidos al efecto, sino que se pide a los estudiantes que sigan una guía detallada, lo que contribuye a una visión rígida, algorítmica y cerrada de la ciencia, faltando incluso el análisis crítico de los resultados obtenidos, el planteamiento de nuevos problemas, etc.

Conviene insistir en que resulta fundamental que los estudiantes tengan ocasión de participar en la elaboración de diseños experimentales, en vez de seguir guías detalladas ya preparadas por los profesores, dado el papel central que juega dicho diseño en la investigación y, muy en particular, para que adquieran 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 también se debe tener en cuenta que su realización concreta exige resolver problemas prácticos en un proceso complejo, con muchas de las características del trabajo tecnológico. Sin embargo, el papel de la tecnología en el desarrollo científico no es tenido en cuenta en la mayoría de las prácticas de laboratorio, dado que éstas presentan los diseños experimentales como simples recetas ya preparadas y excluyen así la vivencia de

las relaciones ciencia-tecnología y cualquier reflexión al respecto (MAIZTEGUI et al., 2002).

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.

### III. Las prácticas de laboratorio como investigación

Las investigaciones sobre prácticas de laboratorio han generado un amplio consenso en torno a la conveniencia de orientarlas como actividad investigadora (GIL-PÉREZ et al., 1991; GONZÁLEZ, 1992; HODSON, 1992 y 1993; TAMIR; GARCÍA, 1992; GRAU, 1994; LILLO, 1994; WATSON, 1994; GIL-PÉREZ; VALDÉS, 1996; GIL-PÉREZ et al., 2005; capítulo 4). El consenso existente en cuanto a la necesidad de esta reorientación merece ser resaltado, pero es necesario ir más allá y mostrar de forma concreta, con ejemplos ilustrativos, lo que cada cual entiende por “prácticas como investigaciones”. En caso contrario correremos 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).

Desde nuestro punto de vista, una práctica de laboratorio que pretenda aproximarse a una investigación ha de dejar de ser un trabajo puramente “experimental” e integrar muchos otros aspectos de la actividad científica igualmente esenciales. De forma muy resumida comentamos, a continuación, el conjunto de aspectos cuya presencia consideramos fundamental para poder hablar de una orientación investigativa del aprendizaje de las ciencias y, en este caso, de las prácticas. Hemos agrupado dichos aspectos en 10 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,

incluyendo las posibles implicaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA) y la toma de decisiones al respecto, teniendo presente, muy en particular, los graves problemas que afectan hoy a la humanidad y la necesidad de contribuir a un futuro sostenible (Educadores por la sostenibilidad, 2005).

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 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 prerrequisitos* 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 dichas 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. Prestar atención a los posibles peligros (para los alumnos directamente o para el medio ambiente) que, en su caso, podría comportar el diseño concebido y prever formas de eliminarlos o reducirlos al mínimo.

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 y de historia). 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 con-

cepciones iniciales, facilitando así, de una forma funcional, los cambios conceptuales y la aproximación a los debates históricos (a menudo apasionantes y dramáticos).

7. Plantear la consideración de posibles **perspectivas** (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados...) y contemplar, en particular, las *implicaciones CTSA* 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 de conocimientos.

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 manuales escolares y, de forma especialmente significativa, en libros de historia de la ciencia), 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.

Mostraremos ahora, con un ejemplo concreto, cómo esta orientación puede, realmente, llevarse a la práctica. Hemos elegido con ese objeto una práctica “clásica” en el nivel de la educación secundaria superior, sobre la caída de graves, para que puedan apreciarse las diferencias con los tratamientos habituales (GIL-PÉREZ et al., 2005, capítulo 4).

## IV. Un ejemplo ilustrativo: el 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, designadas con la notación A.1., A.2., ..., acompañadas de comentarios que intentan justificar dichas actividades, transcribir sintéticamente las contribuciones de los estudiantes, etc. Dicho programa de actividades está concebido para orientar la investigación de los estudiantes, que trabajan en pequeños grupos, con puestas en común coordinadas por el profesor.

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- 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.

### IV.1 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 favorecen 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 nos llevará a 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.

## **IV.2 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:

✓ 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.

✓ 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, de tal forma que a doble masa, en igualdad de las restantes condiciones, ha de corresponder la mitad de tiempo de caída (CARRASCOSA et al., 1991). 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 someter a prueba las hipótesis acerca de la influencia o no de la masa en el tiempo de caída.*

La experiencia que consiste en dejar caer a la vez dos cuerpos “pesados” pero de masas muy diferentes permite a los estudiantes constatar claramente que la duración de la caída y la masa no guardan entre sí la proporcionalidad inversa que se esperaba sino que, al parecer, el tiempo de caída es, en general, independiente de la masa. 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 resistencia del 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, en el siglo XVII, 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 resistencia del 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 bola. 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. El profesor puede añadir que, en efecto, se han hecho experiencias científicas muy rigurosas (mucho más que las que se puedan realizar en un laboratorio escolar) y todos los resultados obtenidos confirman esta misma conclusión.

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.

### **IV.3 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 (donde “e” es la posición del móvil sobre la trayectoria, “a” la aceleración sobre la trayectoria y “t” el tiempo). 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  $h = kt^2$ .

### **IV.4 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 bola de acero, para disminuir al máximo el efecto de la resistencia del aire. desde distintas alturas y medir en cada caso el tiempo empleado en caer para ver si los

valores obtenidos se ajustan o no 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 (para que se den cuenta de ello basta con pedirles que dejen caer la bola desde una cierta altura y que varios estudiantes intenten medir el tiempo de caída, comprobando la gran dispersión de los valores obtenidos y, en definitiva, la imposibilidad de realizar esa medida). Conciben entonces la posibilidad de fotografiar la caída de la bola, al lado de una cinta métrica, “con una cámara que dispare automáticamente a intervalos de tiempo regulares y muy breves”. Este procedimiento de fotografía estroboscópica ha sido utilizado en este tipo de medidas con muy buenos resultados y así conviene hacérselo notar a los estudiantes a modo de refuerzo de sus planteamientos.

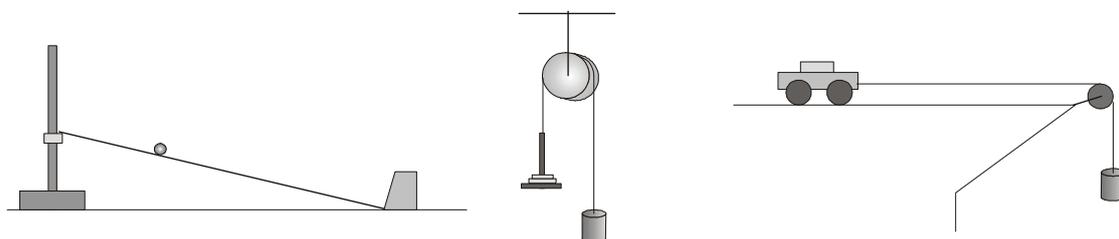
La idea de la automatización aparece como algo básico para evitar los problemas de coordinación entre el instante de soltar la bola y la puesta en marcha del cronómetro. En ese sentido surge también la propuesta de utilizar relojes electrónicos, que se pongan en marcha al soltarse la bola y se paren 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. Por otra parte, 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; VALDÉS, 1994; BORGES, 2004).

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.** *Conciban 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 provisto de una pequeña acanaladura rectilínea por la que rueda la bola, de aquí que la actividad solicite *varios* procedimientos. Los estudiantes encuentran inicialmente serias dificultades para imaginar un diseño adecuado y sus primeras propuestas suelen incluir fuerzas de resistencia (“dejar caer la bola en un tubo lleno de agua”, “colgar la bola de un pequeño paracaídas”...).

La discusión de las propuestas anteriores 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 bola por un plano inclinado pulimentado– 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 (Fig. 1).



*Fig. 1. Diseños propuestos para debilitar la caída sin introducir fricción.*

Es preciso insistir en que merece la pena tener algo de paciencia y permitir a los estudiantes que, mediante el trabajo en pequeños grupos y las puestas en común, 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 a los alumnos totalmente 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.

#### **IV.5 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 bola por un plano inclinado.***

El plano inclinado puede sustituirse con éxito por un riel de aluminio, de los que se utilizan para instalar las persianas, de unos 2m de largo, señalando longitudes con un rotulador de tinta permanente. 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 bola para no comunicarle velocidad inicial?* Una forma es colocar una regla delante de ella y retirarla de golpe hacia delante para iniciar el movimiento. O también: *¿Cómo medir con precisión el tiempo empleado en el recorrido?* Respecto a esta cuestión, conviene que el alumno que retira la regla sea el mismo que maneja el cronómetro (para que así puedan hacerse las dos cosas simultáneamente). Por otra parte, interesa colocar un tope al final del plano de forma que el sonido del choque de la bola contra él sirva de señal para parar el cronómetro. También es preciso tener cuidado en medir correctamente la longitud recorrida por la bola, no mover el plano durante el experimento, etc.

Se pueden ahora tomar 4 ó 5 valores de longitud de plano recorrida por la bola, realizando para cada una de dichas longitudes el número de medidas de tiempo convenientes, atendiendo a la dispersión de los valores (al menos tres medidas en cada caso) y realizar los correspondientes cálculos estadísticos elementales para expresar los resultados y su fiabilidad. Si se tienen en cuenta todas las precauciones señaladas suelen obtenerse resultados muy aceptables. No obstante, las dificultades de coordinación existentes entre soltar la bola y poner en marcha el cronómetro (y lo mismo para cuando la bola llega al final del recorrido), hacen ver la conveniencia de automatizar el proceso, por ejemplo, con ayuda de un ordenador. Se evita así, por otra parte, el problema que supone tener que aceptar que el giro de la esferita no afecta a su caída (algo que sólo se puede justificar plenamente tras el estudio de la superposición de movimientos). Esta automatización 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 <sup>(1)</sup>.

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 de una cámara fotográfica que permita realiza fotografías estroboscópicas, (bastantes de las actuales cámaras digitales lo hacen) se puede proceder a la realización de este experimento, o bien a proporcionar a los estudiantes la fotografía obtenida “por otros investigadores”:

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

Los estudiantes han de efectuar la lectura cuidadosa de distintas posiciones ocupadas por la bola (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 sólo 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.

#### **IV.6 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 se ajustan, con un cierto margen de imprecisión, a la relación  $e = kt^2$ .

La automatización de la medición del tiempo mejora muy sensiblemente los 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 de los puntos experimentales, y lo mismo ocurre con los datos 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 motivador 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 (CARRASCOSA, 2005). 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, elaborando 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, vídeos, 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.

#### **IV.7 Recapitulación del estudio realizado acerca de la caída de los cuerpos**

La orientación de los trabajos prácticos que hemos ilustrado con este ejemplo pretende 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.

#### **V. Reflexiones finales**

Terminamos aquí este trabajo dedicado a la reorientación de la actividad experimental, de acuerdo con el modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada. 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, en la enseñanza de las ciencias, asociándolo a otros aspectos igualmente importantes de la investigación científica. Sería muy conveniente, pensamos, mostrar nuevos ejemplos de este tipo de actividades y garantizar, como se propugna en el Editorial del monográfico de Caderno Brasileiro de Ensino de Física (vol.21, Edição Especial), un espacio permanente para su divulgación.

Señalaremos finalmente que los estudiantes y los docentes, en general, valoran de forma muy positiva el enfoque de las prácticas de laboratorio como investigaciones, rechazando su orientación habitual como “recetas de cocina”.

#### **Notas**

(1) 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; VALDÉS, 1998). La entrada de información digital al ordenador se efectúa empleando sencillos interruptores: por ejemplo, la bola 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.

## Referencias bibliográficas

ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, 2000. (Reeditado en v. 21, Edição Especial, nov. 2004).

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

BARBERÁ, O.; VALDÉS, P. El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, p.365-379, 1996.

BORGES, A. T. Novos Rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, 2002. (Reeditado en v. 21, Edição Especial, nov. 2004).

CARRASCOSA, J. El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 2, n. 3, p.388-402, 2005.

CARRASCOSA, J.; FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; OROZCO, A. Diferencias en la evolución de las preconcepciones en distintos dominios científicos. **Revista de Ensino de Física**, v. 13, p. 104-134, 1991.

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

EDUCADORES POR LA SOSTENIBILIDAD. Disponible em:  
<<http://www.oei.es/decada/>>. 2005.

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

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

GIL-PÉREZ, D.; NAVARRO, J.; GONZÁLEZ, E. 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**, v. 7, n. 1, p. 33-47, 1993.

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

GIL-PÉREZ, D.; MACEDO, B.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; SIFREDO, C.; VALDÉS, P.; VILCHES, A. (Eds.). **¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años**. Santiago: OREALC/UNESCO, 2005.

GIORDAN, A. Observation - Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? **Revue Française de Pédagogie**, v. 44, p. 66-73, 1978.

GONZÁLEZ, E. ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?, **Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 2, p. 206-211, 1992.

GONZÁLEZ, E. **Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de Física**. 1994. Tesis (Doctoral) - Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València, España.

GONZÁLEZ DE LA BARRERA, L. **Las Prácticas de Laboratorio de Química en la Enseñanza Universitaria. Análisis crítico y Propuesta de Mejora basada en la Enseñanza-Aprendizaje por Investigación Orientada**. 2003. Tesis (Doctoral) - Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València, España.

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

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

HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 5, p. 541-566, 1992.

HODSON, D. Re-thinking old ways: towards more critical approach to practical work in school science. **Studies in Science Education**, v. 22, p. 85-142, 1993.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 47-56, 1994.

LAZAROWITZ, R.; TAMIR, P. Research on using laboratory instruction in science. En: GABEL, D. (Ed.). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. Nueva York: McMillan Pub Co., 1994.

LILLO, J. Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa. **Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales**, v. 2, p. 47-56, 1994.

LUNETTA, V. The school science laboratory: historical perspectives and contexts for contemporary teaching. En: FRASER, B.; TOBIN, K. (Eds.). **International Handbook of Science Education**. London: Kluwer Academic Publishers, p. 249-262, 1998.

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-CEREZO, J. A.; MACEDO, B.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; MORENO, A.; PRAIA, J.; RUEDA, C.; TRICÁRICO, H.; VALDÉS, P.; VILCHES, A. Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 28, p. 129-155, 2002.

McCOMAS, W. F. (Ed). **The nature of science in science education. Rationales and strategies**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MILLAR, R.; DRIVER, R. Beyond processes. **Studies in Science Education**, v. 14, p. 33-62, 1987.

NIEDA, J. Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en la Enseñanza Secundaria. **Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales**, v. 2, p. 15-20, 1994.

PAYÁ, J. **Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y Química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada**. 1991. Tesis (Doctoral) - Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València, España.

SALINAS, J. **Las prácticas de Física básica en laboratorios universitarios**. 1994. Tesis (Doctoral) - Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València, España.

SALINAS, J.; CUDMANI, L. C. Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 5, n. 2, p. 10-17, 1992.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, M. S.; DIAS, N. A. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, 2003. (Reeditado en v. 21, Edição Especial, nov. 2004).

TAMIR, P.; GARCÍA, M. Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de ciencias utilizados en Cataluña. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 3-12, 1992.

VALDÉS, R.; VALDÉS, P. Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 412-415, 1994.

VALDÉS, R.; VALDÉS, P. Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante computadoras: determinación de la velocidad del sonido en el aire. **Revista Española de Física**. v. 12, p. 33-38, 1998.

WATSON, J. Diseño y realización de investigaciones en las clases de Ciencias. **Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales**, v. 2, p. 57-65, 1994.