



I ¿Qué es lo que hace difícil una investigación?

Ramón Grau

Profesor de Ciencias Experimentales
IES Badalona 9

Este artículo plantea el rol que juegan los trabajos prácticos en la educación científica. Se destaca el papel de las investigaciones, que al margen de permitir el acceso a nuevos conocimientos, constituyen un instrumento que ayuda a comprender la función de la Ciencia. Así mismo se estudian las dificultades con las que se encuentran los chicos y chicas cuando deben planificar un trabajo de investigación y se realizan diversas propuestas para establecer una progresión en la complejidad de las investigaciones.

I LOS TRABAJOS PRÁCTICOS Y LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Los trabajos prácticos constituyen uno de los instrumentos más adecuados de los que dispone el profesorado para la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. Este tipo de actividades se ajusta a los diversos aspectos de que consta la educación en Ciencias. En un reciente artículo Caamaño (1993) propone una clasificación de dichos trabajos basado en el criterio de los objetivos que se intentan desarrollar y en la forma en que se pretenden conseguir. El Cuadro 1 muestra un resumen de esta clasificación.

El objetivo que se persigue con las *experiencias* y los *experimentos ilustrativos* es mostrar al alumnado los fenómenos naturales, hacer concretos aquellos conceptos más abstractos y familiarizar a cada estudiante con las principales teorías. Se trata de actividades que podemos centrar en lo que Hodson (1992) califica como *aprender Ciencia*, es decir, en la comprensión y el aprendizaje de conceptos científicos.

Alumnos y alumnas podrán aprender Ciencia, pero también *hacer Ciencia* a partir de los *trabajos de investigación* y *experimentos para contrastar hipótesis*. Se trata de actividades que pueden dirigirse a proporcionar los conocimientos y capacidades de investigación necesarios para resolver problemas en la forma en que lo hace la Ciencia. Debemos entender que los *ejercicios prácticos* suponen el desarrollo de una serie de capacidades instrumentales previas al trabajo de investigación, pero que en ningún caso pueden enmarcarse en esta categoría.

Cuadro I. Tipos de trabajos prácticos

1. *Experiencias*: actividades prácticas destinadas a obtener una familiarización perceptiva con los fenómenos.
2. *Experimentos ilustrativos*: actividades para ejemplificar principios, comprobar leyes o mejorar la comprensión de determinados conceptos operativos.
3. *Ejercicios prácticos*: actividades diseñadas para desarrollar específicamente habilidades prácticas, estrategias de investigación, habilidades de comunicación o procesos cognitivos en un contexto científico.
4. *Experimentos para contrastar hipótesis*: actividades experimentales en las que se pretende determinar la validez de una hipótesis establecida por el profesor o por los propios alumnos.
5. *Investigaciones*: actividades diseñadas para dar a los estudiantes la oportunidad de trabajar como los científicos o los tecnólogos en la resolución de problemas.

Los objetivos que se persiguen en los dos grupos de trabajos prácticos ("aprender y comprender conceptos científicos" por un lado y "disponer de conocimientos, capacidades y experiencia que permitan investigar") son de distinta naturaleza.

Entre el profesorado de Secundaria del área de Experimentales existe una cierta tradición de desarrollar trabajos experimentales en el laboratorio. No obstante, el análisis de la naturaleza de estos trabajos demuestra que se trata de prácticas de verificación, ilustración o de desarrollo de técnicas de laboratorio. En ellos, el alumnado consume una buena parte del tiempo haciendo observaciones, medidas, manipulando aparatos y describiendo resultados. Todas ellas son tareas de un bajo nivel de indagación (Tamir y García, 1992). No hay que dudar de la utilidad de estas actividades; permiten al alumnado acceder a algunos conceptos, facilitar su comprensión y familiarizarse con fenómenos, así como aprender un conjunto de habilidades instrumentales (de orden psicomotor y cognitivo). Parece que la mayoría de profesores utiliza los trabajos prácticos en la línea de *aprender Ciencia*, proponiendo un buen número de actividades como experiencias, experimentos ilustrativos y ejercicios prácticos, pero pocas veces se proponen al alumnado verdaderas actividades de investigación donde deban trabajar como lo haría una persona científica.

El currículum científico en la enseñanza secundaria proporciona una imagen específicamente científica del mundo y de sus habitantes, pero también imbuye una actitud hacia la Ciencia y favorece la formación de una visión concreta sobre el papel de la Ciencia y de su propio significado (Ziman 1986). El estilo usado por los profesores y profesoras, los contenidos seleccionados en sus actividades de aprendizaje, el contexto en el que se presentan los conceptos científicos, la naturaleza de las actividades de aprendizaje que se proponen al alumnado... son elementos que reflejan la imagen de la Ciencia que posee el profesorado (Albaladejo, Grau, Guasch y de Manuel, 1993). Hay evidencias de que el estilo usado por el profesorado, así como su propia imagen de la Ciencia, incide sobre la formación del concepto de Ciencia en los alumnos y alumnas, de su función y naturaleza (Jungwirth, 1971).

La utilización clásica de los trabajos prácticos, que facilita el acceso al conocimiento de *hechos* científicos, refuerza la visión de la Ciencia como un *conjunto de conocimientos organizados explicativos* del mundo en el que vivimos.

Pero la Ciencia es también *la exploración e investigación para resolver problemas* que las personas se plantean. En esta línea, se pueden utilizar los trabajos prácticos con otra orientación. Se trata de incluir tareas de investigación, de presentar problemas a los que hay que dar respuesta a través de la planificación y desarrollo de una metodología experimental. Entonces deberemos incrementar el nivel de investigación de las actividades de laboratorio que proponemos a nuestros alumnos y alumnas.

I LOS NIVELES DE INVESTIGACIÓN EN LOS TRABAJOS PRÁCTICOS CON ALUMNOS

En todo trabajo de investigación se plantea un *problema* que debe resolverse a través de la planificación y desarrollo de un *método experimental* con el objetivo de obtener una *respuesta*. Se ha propuesto (Herron, 1971; Tamir, 1989) un marco de análisis general que permite evaluar el nivel de investigación de un trabajo experimental (Cuadro 2).

Cuadro 2. Marco de análisis para determinar el nivel de investigación de un trabajo experimental.

Nivel de investigación	Problema	¿Quién proporciona el método experimental?	Respuesta
0	Profesor/a Libro de texto	Profesor/a Libro de texto	Profesor/a Libro de texto
1	Profesor/a Libro de texto	Profesor/a Libro de texto	Alumno/a
2	Profesor/a Libro de texto	Alumno/a	Alumno/a
3	Alumno/a	Alumno/a	Alumno/a

Según quien proponga el problema a investigar, diseñe el método experimental y proporcione la respuesta, obtendremos una clasificación del nivel de investigación de la actividad. En algunos casos, para desarrollar habilidades técnicas o mostrar fenómenos pueden ser convenientes las actividades de nivel 0 (no hay ninguna investigación); se trata de verificaciones o comprobaciones en las que se da al alumnado el problema, el método a seguir y la respuesta que debe hallar. Las actividades de nivel 1 ayudan a la capacidad de resolver preguntas aplicando un método dado o a la adquisición de seguridad en el dominio de determinadas técnicas experimentales. Las *experiencias*, los *experimentos ilustrativos* así como algunos *ejercicios prácticos*, de los que hemos hablado anteriormente, son actividades que se incluyen en este bloque de trabajos prácticos con bajo nivel de investigación. La

autonomía de los alumnos y alumnas en este tipo de trabajos es más bien baja, limitándose a seguir las instrucciones proporcionadas por el profesorado o el manual de prácticas.

En las actividades de nivel 2 el alumnado debe planificar el experimento y movilizar las estrategias necesarias (identificación de variables, diseño del control, determinación de las medidas a realizar,...) para dar respuesta a una situación que ha planteado el profesor. Finalmente, las actividades de nivel 3 representan un verdadero trabajo de investigación. En este segundo bloque de actividades con un nivel de investigación superior debemos situar algunos *ejercicios prácticos*, los *experimentos para contrastar hipótesis* y las *investigaciones*. Sin lugar a dudas, suponen un incremento de la autonomía del alumnado que debe tomar decisiones relacionadas con el diseño y planificación del trabajo a realizar y, más tarde, llevarlas a cabo.

I DIFICULTADES EN LAS INVESTIGACIONES

¿Es posible que los alumnos y alumnas investiguen? Se ha constatado la existencia de dificultades para que el alumnado lleve a cabo investigaciones (Dreyfus, 1986; Gott, Welford y Foulds, 1988; Qualter, Strang, Swatton y Taylor, 1990). El origen de estas dificultades es diverso, pero la mayoría de autores se refieren a:

- Dificultades relacionadas con el *grado de autonomía en el diseño* (que se incrementan cuando se cede el diseño y el control de las operaciones a realizar al alumnado).
- Dificultades relacionadas con *los conceptos* (derivadas de la comprensión de los conceptos implicados en la investigación y del contexto en el que se desarrolla).
- Dificultades relacionadas con *los procedimientos* (asociadas al tipo y número de variables, a su complejidad y control; relacionadas con las técnicas experimentales que deben aplicarse).

Centrémonos inicialmente en el grado de autonomía. Veamos cómo podemos facilitar el incremento gradual de la iniciativa del alumnado.

Para transformar trabajos del nivel 1 en trabajos de nivel 2 puede ser conveniente diseñar una etapa intermedia.

En las *investigaciones parciales*, en vez de detallar el material instrumental que requeriremos durante la investigación, así como enumerar las etapas sucesivas por las que discurrirá el trabajo, podemos proponer a los alumnos y alumnas una lista de elementos que pueden o no ser utilizados en aquella investigación. Serán ellos y ellas quienes seleccionen el material que crean necesario y estructuren su utilización. Incluso aquí puede haber distintos niveles de dificultad (listar únicamente el material instrumental necesario, introducir distractores, no listar todo el material necesario). La intención del planteamiento será la de favorecer gradualmente la autonomía de cada estudiante en el diseño experimental.

En la misma línea Rubiny Tamir (1988) proponen, entre otras estrategias, que el alumnado prepare un plan de trabajo (guía de investigación) donde haya de:

1. Determinar el problema a investigar.
2. Formular una hipótesis evaluable.
3. Identificar la variable dependiente y la independiente.

4. Definir el procedimiento y el número de repeticiones.
5. Planificar por escrito el diseño experimental.

El profesorado puede proporcionar pautas que faciliten la elaboración del plan de trabajo (Cuadro 3). Una vez desarrollado, el profesor o profesora examinará el plan de trabajo para determinar su validez y/o discutir con cada estudiante las correcciones a efectuar.

Se plantea o se explica una situación, un caso (que puede ser o no experimental), o bien se realiza un trabajo experimental. En relación a este contexto, se pide al alumnado que diseñe una investigación. Para ello se proporcionan una serie de pautas (en la actividad se incluirán únicamente aquellas indicaciones que el profesor o profesora considere procedentes):

Cuadro 3. Pautas *indicativas* que pueden incluirse en la elaboración de una investigación guiada

1. ¿Qué problema se investiga? ¿Puede formularse en forma de pregunta?
2. ¿Puede formularse alguna hipótesis? ¿Es posible avanzar alguna respuesta al problema?
3. ¿Es posible, a partir de la hipótesis, hacer una deducción que facilite el experimento? ¿Se puede relacionar la hipótesis con el experimento?
4. ¿Qué factor/es modificarás a lo largo del experimento? ¿Cuál es la variable independiente?
5. ¿Qué resultado observarás? ¿Cual es la variable dependiente? ¿Como lo observarás?
6. ¿Cómo te asegurarás de que los resultados dependen de las modificaciones que has introducido? ¿Cuál será el control del experimento?
7. ¿Qué aparatos o instrumentos necesitarás?
8. Elabora por escrito una planificación de la investigación. Divide el proceso en varias etapas y explica qué harás y por qué.

Una vez elaborada la planificación discútela con el profesor o profesora, puede ser necesario introducir alguna modificación.

Es conveniente que las conclusiones del experimento:

- Constituyan el punto de partida de nuevos problemas.
- Puedan aplicarse a situaciones conocidas por los alumnos.

Pueden sugerirse problemas relacionados con la investigación y plantear al alumnado nuevas investigaciones.

Nos referimos a las actividades que facilitan los pasos necesarios para el diseño de una investigación como *investigaciones guiadas*. A medida que los alumnos vayan acumulando experiencia y adquieran suficiente capacidad, se pueden ir incrementando los grados de libertad de su actuación. Dicho con otras palabras, podremos ir disminuyendo el número de indicaciones para su trabajo en actividades de investigación.

Tanto las investigaciones parciales como las investigaciones guiadas pueden representar una ayuda al llevar a cabo la planificación de la investigación.

Para ir transfiriendo el control de las investigaciones al alumnado, Dock (1 990) pro-

pone una estrategia en la que, de forma progresiva y gradual, se iría cediendo a los alumnos y alumnas la responsabilidad de:

1. Realizar la planificación de la investigación.
2. Llevar a cabo su propia planificación.
3. Interpretar los resultados.
4. Formular el problema que se investigará.
5. Definir el área de interés.

Por ejemplo, se puede pedir a los alumnos y alumnas que planifiquen, organizados en grupo, una investigación. Después de la discusión de las planificaciones que proponen los diversos grupos, la estrategia que se lleva a cabo finalmente es la que proporciona el profesor, que a su vez es quien interpreta los resultados. Para incrementar el grado de autonomía los alumnos deberían llevar a cabo la estrategia experimental que ellos mismos diseñarían. Los resultados obtenidos podrían ser interpretados conjuntamente con el profesor o, si conviene, puede realizarla únicamente el alumnado.

I LA PROGRESIÓN EN LA COMPLEJIDAD DE LAS INVESTIGACIONES

En el apartado anterior hemos tratado de las dificultades derivadas del grado de autonomía en la planificación. Se han identificado también problemas relacionados con los conceptos implicados en la investigación, así como con los procedimientos que el alumnado debe aplicar a lo largo de la investigación. Un análisis de estos factores puede permitir la definición de los elementos que se pueden ir modificando para conseguir una progresión en las investigaciones que se adapte a las posibilidades del alumnado.

El Cuadro 4 (modificado de Qualter, Strang, Swatton y Taylor, 1990) proporciona un marco para la progresión de los elementos propios de las investigaciones.

Johnstone y Wham (1982) creen que las investigaciones que se proponen al alumnado son bastante exigentes, ya que se pide aplicación simultánea de conocimiento funcional de conceptos, habilidad en las técnicas de laboratorio (por ejemplo, el uso del microscopio o de las balanzas) y capacidades de investigación intelectuales (por ejemplo, formular hipótesis, identificar variables). Todos estos requisitos pueden representar una sobrecarga para el alumnado. Quizás convenga disminuir su peso.

No podemos olvidar que la capacidad del alumnado para afrontar una investigación depende del grado de dominio de los conceptos implicados en ella. La capacidad para formular hipótesis razonables es un elemento básico en las investigaciones. Las hipótesis que se pueden formular siempre están en función de los conocimientos que poseemos sobre el fenómeno que se investiga. Siendo claves las hipótesis en el proceso de investigación, parece obvia la influencia de los conocimientos sobre la capacidad de investigar. En esta línea se propone que las primeras tareas de investigación que deban resolver los alumnos y alumnas se centren en contextos familiares, bien conocidos por su experiencia acumulada en ellos. Asimismo, no deberían requerir más que un conocimiento limitado de

Figura 4. Marco para la progresión en la complejidad de las investigaciones

Elementos de la progresión	Naturaleza de la progresión	
<p>Contexto</p> <p><i>Carga conceptual</i></p>	<p>Enmarcado en contextos familiares. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. en casa 2. en la escuela 3. en deportes conocidos 4. en tiendas <p>- Baja. Tareas que dependan de un conocimiento limitado o de aplicar un concepto científico concreto. Por ejemplo: "investigar la cantidad de sal que hay en una disolución acuosa"</p>	<p>Enmarcado en contextos cada vez menos familiares. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. en el laboratorio 2. en la fábrica 3. en el hospital <p>- Alta. Tareas que requieren un mayor conocimiento o una aplicación más compleja de un concepto científico concreto. Por ejemplo: "investigar cómo influye la cantidad de sal en la modificación del punto de congelación del agua"</p>
<p><i>Variables que cambiarán (independiente)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Número • Tipo 	<p>- Sólo una. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. la longitud de la cuerda de una guitarra <p>- Categórica. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. color del coche 2. tipo de material 3. género 	<p>- Múltiples. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. la longitud y el diámetro de una cuerda de guitarra <p>Continua. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. longitud del coche 2. masa del material 3. edad
<p><i>Variables que se medirán (dependiente)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Naturaleza • Aparatos que se utilizarán en su medida 	<p>- Se puede decidir sin necesidad de medir. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. flotar/hundirse 2. caer 3. doblarse <p>- Sencillos. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. reglas 2. cuentagotas 3. pipetas 	<p>- Necesidad de medir. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. longitud 2. temperatura 3. voltaje <p>- Complejos. Por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. microscopio 2. balanzas 3. bureta

los conceptos implicados, de forma que la carga conceptual no suponga, en sí misma, un obstáculo infranqueable. La progresión nos llevará gradualmente hacia problemas centrados en contextos menos familiares, donde inicialmente no se necesite un mayor grado de cono-

cimiento conceptual, para finalizar con tareas que requieran un conocimiento más amplio o una aplicación más compleja de un concepto científico.

Sobre establecer una progresión que facilite a los estudiantes el acceso a las investigaciones podemos recoger el trabajo de Gott y Foulds (1988). Basándose en el *número y tipo de variables independientes*, y partiendo siempre de contextos y problemas más o menos cotidianos, establecen tres tipos de investigaciones que deberían plantearse al alumnado de forma secuencial:

- Tipo 1: Una única variable independiente categórica. Se trata de investigaciones del tipo *¿Cuál es mejor...?* o *¿En cuál de ellas hay...?* Sólo hay una variable independiente que, al ser de tipo categórico, resulta fácil de manipular.
- Tipo 2: Una única variable independiente continua. En estas investigaciones se debe manejar una sola variable que deberá modificarse dentro de un intervalo de valores. Los alumnos y alumnas determinan el número de tratamientos que deben realizarse, así como el intervalo entre los valores. Son investigaciones del tipo *¿Influye la cantidad de...?* o *¿Qué cantidad es mejor para...?*
- Tipo 3: Más de una variable categórica. Se incrementa la complejidad si introducimos más de una variable. En este caso resulta apropiado que ambas variables sean categóricas, pues facilita a los chicos y chicas su manipulación.

I CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo hemos tratado sobre el papel de los trabajos prácticos, y en especial hemos analizado cómo facilitar el trabajo del alumnado con las investigaciones. También hemos analizado cómo se puede establecer la progresión en la autonomía del alumnado en el diseño de las investigaciones y cómo se puede avanzar a través de *la* complejidad de dichos trabajos prácticos. Aunque existan otros elementos a considerar (como el papel de las investigaciones en el aprendizaje de conceptos), nos ha parecido oportuno analizar los diversos tipos de investigaciones que podemos plantear, así como las dificultades derivadas de la propia complejidad de su diseño. No hemos entrado a discutir la programación a medio y largo plazo de los trabajos prácticos (que por supuesto incluyen las investigaciones), ni hemos analizado cómo aborda cada alumna o alumno, en particular, las tareas que se proponen.

Entendemos que los trabajos prácticos pueden constituir un instrumento que acerque a los alumnos y alumnas a *la* actividad de la Ciencia. Creemos que hay que darles la oportunidad de aprender a utilizar los trabajos prácticos para resolver problemas. Así, uno de los objetivos primordiales de las investigaciones sería implicar al alumnado en la resolución de un problema, cuanto más real mejor, desarrolladas básicamente a través de su propia iniciativa.

Las investigaciones también permiten la ilustración de conceptos y *la* verificación de principios o leyes. Pero cuando nos planteamos que el alumnado aprenda a investigar, entonces no es prioritario generar más conocimientos.

Como es de suponer, determinar la progresión que se seguirá para familiarizar alumnas y alumnos con las investigaciones requiere una cuidadosa preparación por parte del profesorado y exige la dedicación necesaria tanto en la fase previa al experimento como en la

posterior (para discutir el diseño, valorar los resultados, evaluar la estrategia,...). Pero si consideramos que debemos favorecer que cada estudiante construya una *imagen de la Ciencia* que incorpore la visión de la Ciencia como un instrumento que ayuda a resolver problemas y a explorar lo que es desconocido, el esfuerzo estará, sin duda, justificado. ———

Referencias bibliográficas

- ALBALADEJO, C; GRAU, R; GUASCH, E; de MANUEL,). *la Ciencia a l'auia. Les activitats d'aprenentatge en Ciències Naturals*. Barcelona: Barcanova, 1993.
- CAAMAÑO, A Los trabajos prácticos en Ciencias Experimentales. *Aula*, 1993, 9, 61 -68.
- DREYFUS, A Manipulating and diversifying the levels of difficulty and task-sophistication of one and the same laboratory exercise. *European Journal of Science Education*, 1986, 8(1), 17-25.
- GOTT, R.; FOULDS, K. Structuring investigations in the Science curriculum. *Physics Educations*, 1988, 23(6), 347-351.
- GOTT, R; WELFORD, K; FOULDS, KAPWIS. Oxford: Blackwell, 1988.
- HERRON, M. The nature of scientific enquiry. *School Science Review*, 1971, 79, 171-172.
- HODSON, D. Redefining and reorienting practical work in school Science. *School Science Review*, 1992, 70, 33-40.
- JOHNSTONE, A.H.; WHAM, A.J.B. The demands of practical work. *Education in Chemistry*, 1982, 19(3), 71-73.
- JUNGWIRTH, E. The pupil, the teacher, and the teacher's image : some second thoughts of BSCS biology in Israel, *Journal of Biological Education*, 1971, 5, 165-171.
- LOCK, R. Open-ended, problem-solving investigations. *School Science Review*, 1990, 71 (256), 63-72.
- QUALTER, A; STRANG, J.; SWATTON, R; TAYLOR, R. *Exploration: A way of learning Science*. Oxford: Blackwell, 1990.
- RUBÍN, A; TAMIR, P. Meaningful learning in the school laboratory. *American Biology Teacher*, 1988, 50, 91-96.
- TAMIR, P. Training Teachers to Teach Effectively in the Laboratory. *Science Education*, 1989, 73 (1), 59-69.
- TAMIR, P.; GARCÍA, P. Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de Ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 1992, 10 (1), 3-12.
- ZIMAN, J. *Introducción al estudio de las Ciencias*. Barcelona: Ariel, 1986.

Dirección de contacto

Ramón Grau. LES Badalona 9. Aifons XII, 69 i. 0891 2 Badalona. Tel: 93/387 37 50