

Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa

Un ejemplo sobre la permeabilidad del suelo

José Lillo Beviá

Se propone a diversos grupos de alumnos de 3º de Magisterio de la especialidad de Ciencias, que ejecuten el diseño experimental que les permita cuantificar y expresar gráficamente los resultados de la experiencia sobre permeabilidad del suelo, planteada como una situación problemática, limitando la ejecución de la experiencia al empleo de recursos fácilmente asequibles o transformables dentro del objetivo general: "Por una enseñanza más reflexiva, activa y creativa al menor costo posible." La autocrítica de los grupos de trabajo, inducida en forma reflexiva por las preguntas formuladas por el profesor como dilemas a resolver en el transcurso de la experiencia, permite vivir la mayor parte de las actividades que caracterizan el trabajo científico experimental y la necesidad de apoyar toda investigación en un marco teórico.

Palabras clave: Ciencia, Experimentos, Naturaleza, Suelos, Filosofía, Enseñanza

La interpretación de la naturaleza del trabajo de laboratorio ha sufrido una transformación en los últimos 25 años, evolucionando desde una atención puesta en el desarrollo de habilidades y destrezas implicadas en los procesos de la ciencia y en su evaluación (Tamir, 1981, 1989, 1992; Solomón, 1988, 1989; Ankisola, 1985; Beaseley, 1985, etc.), hacia unas actividades planteadas como situaciones problemáticas y ligadas íntimamente al marco teórico (Gil, Carrascosa, Furió, Martínez-Torregrosa, 1991; Lucas, García Rodeja, 1990, etc.).

Recientemente Hodson (1992) ha expresado claramente que el enfoque sobre las destrezas básicas es filosóficamente poco sólido (porque no está basado en un modelo básico y real de la ciencia), educacionalmente inútil (porque trivializa el aprendizaje) y pedagógicamente peligroso (porque fomenta una mala enseñanza), y propone un modelo más holístico de evaluación de los trabajos de laboratorio basado en una visión más acorde con la práctica científica real.

Algunos filósofos de la ciencia (Bunge, 1976; Hempel, 1973; Lakatos, 1982), venían insistiendo en la misma línea, indicando que "toda investigación viene enmarcada por paradigmas teóricos",..., "que los problemas científicos constituyen inicialmente situaciones problemáticas confusas que generan hipótesis de trabajo que deben poner en marcha determinados procesos científicos."... "Son las hipótesis las que orientan la búsqueda de datos, y trabajar en términos de hipótesis supone dudar sistemáticamente de los resultados alcanzados y someter a revisión nuestras hipótesis."

La experiencia que comentamos se enmarca en la línea de fomentar las situaciones problemáticas, el empleo de la duda sistemática y el cuestionamiento de lo que hacemos y observamos, como entrenamiento previo para que los alumnos lleguen a ser capaces de emitir hipótesis basadas en un marco teórico.

Desarrollo de la experiencia

Situación de partida

Habiendo constatado que la experiencia que anteriormente habían tenido mis alumnos de 3º de Magisterio en la especialidad de Ciencias se había limitado en el mejor de los casos a actividades de demostración o comprobación, desconectadas en general de la teoría, decidí someter al grupo a la experiencia que comento, y posteriormente sugerirles la lectura de algunos artículos sobre la problemática del trabajo en el laboratorio de ciencias (Lucas, García-Rodeja, 1990; González, 1992; Gil, Carrascosa, Furió, Martínez-Torregrosa, 1991, capítulo 1; Hodson, 1992), finalizando con una crítica reflexiva de la experiencia y de las lecturas.

Estimo que la experiencia se puede realizar también con alumnos del último ciclo de Primaria, Secundaria y Bachillerato, por lo que supone de reflexión sobre las características del trabajo científico.

Planteamiento de la investigación

Se dividió al grupo de clase (48 alumnos y alumnas) en 12 grupos de cuatro alumnos-as y se les propuso la siguiente situación problemática condicionada por el objetivo "Por una enseñanza más reflexiva, activa y creativa al menor costo posible" (Lillo, Redonet, 1985, capítulo 4), quedando el problema expresado en los siguientes términos:

"Diseñar un modelo experimental que permita demostrar cuál de las muestras siguientes es más permeable: arena de playa, suelo de jardín, suelo de ladera, barro. Construir los elementos del diseño con materiales caseros o de bajo costo y expresar cuantitativa y gráficamente los resultados de la experiencia."

Parece a primera vista que es absurdo plantear un trabajo experimental partiendo del diseño experimental, que es una de las fases más complicadas del trabajo científico, pero precisamente se verá que la conducción de la experiencia está planteada así intencionalmente, para que el diseño experimental no sea algo indicado por el profesor sino algo que surge de la necesidad de cada grupo en el desarrollo de su actividad.

Se trata de una actividad guiada (no ciega) por el profesor, que pretende hacer conscientes a los alumnos de la variedad de procesos implicados en la actividad científica y que esta no consiste una serie sistemática de pasos. Se pretende que en los grupos vayan surgiendo los problemas, las incoherencias, las deficiencias, la conciencia de que falta el apoyo en un marco teórico, etc., y que esta vivencia les permita reflexionar sobre las características del trabajo científico. Veamos cómo se vivió la experiencia.

Resultados obtenidos y comentario de la actividad de los distintos grupos

Se obtuvieron doce diseños distintos, algunos de los cuales fueron evolucionando y mejorando su propio diseño original, y otros tuvieron que ser abandonados por ineficaces, adoptándose otro modelo distinto. El Cuadro 1 recoge algunos modelos.

- Grupo 1: Se plantea el concepto de experimento control o testigo

Diseño utilizado: En la primera fase usaron un colador de tela hasta que fueron conscientes de las deficiencias del modelo, y asumiendo las deficiencias diseñaron otro que las corregía. (Véase Cuadro 1, figura A).

Profesor (P)- ¿Cómo funciona vuestro diseño experimental?

Alumno 1 (A)- Se coloca una cantidad de tierra en el colador y se echa en cada muestra la misma cantidad de agua. Luego se ve qué tarro tiene más agua.

P- ¿Por qué echáis la misma cantidad de agua en cada muestra? ¿da lo mismo usar distinta cantidad de suelo de cada clase o deben ser también iguales las cantidades de suelo? Al fin y al cabo lo que medís es el agua que atraviesa la muestra.

A2- Sí pero tienen que ser iguales porque si no puede ocurrir que al haber más cantidad de muestra el agua se reparta por más cantidad de muestra, y entonces pasa menos agua. Sí, tienen que ser iguales las cantidades de suelo y la cantidad de agua.

P- ¿Habéis obtenido cantidades de agua muy diferentes o muy parecidas?

A1- Muy parecidas.

P- ¿Y no os parece raro? ¿Habéis oído decir que el barro es impermeable? ¿Por qué está mojado todo el colador?

A4- ¡Ya sé! Parte del agua se ha filtrado por la tela del colador. No lo hemos hecho bien. Hay que echar el agua poco a poco encima de la muestra y que no toque la tela del colador.

P- Bueno probar a ver qué ocurre.

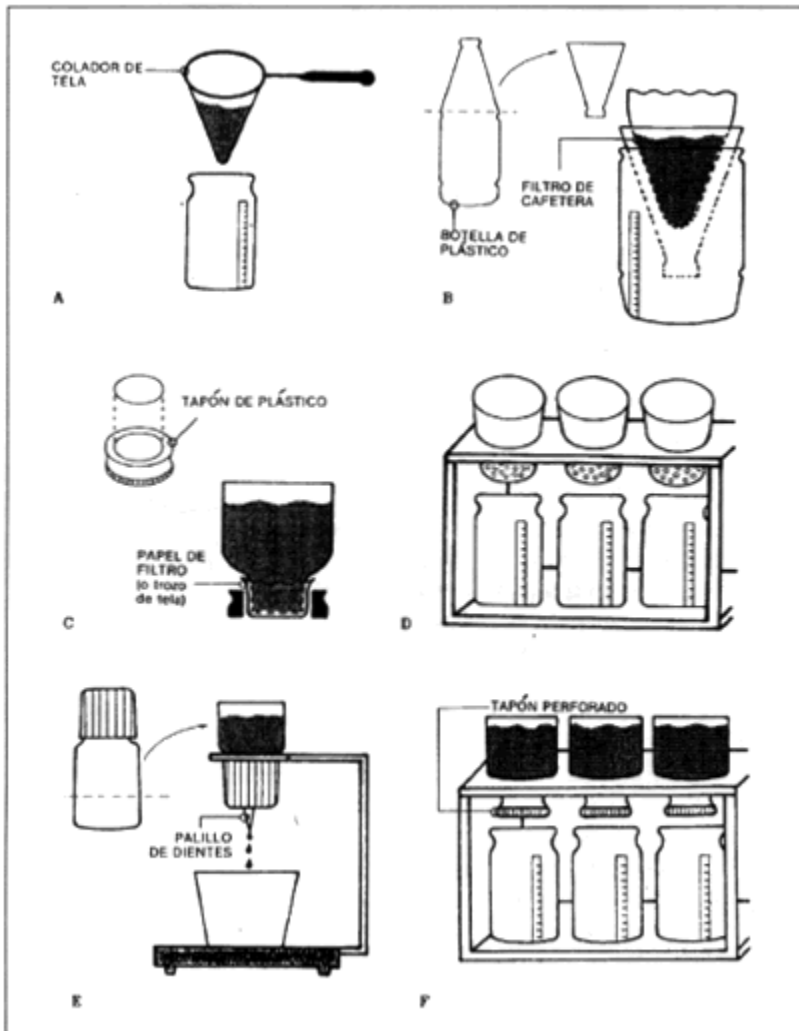
A3- (Después de repetir echando agua lentamente en el centro de la muestra) Tampoco son muy diferentes las cantidades de agua recogida y la tela se ha mojado igual. Ha ido mojándose hacia arriba poco a poco. La tela absorbe también parte del agua. Además en la muestra de barro también pasa mucha agua.

P- ¿Cómo demostrarías si el barro es realmente impermeable? Y, en el caso de que lo fuera, ¿cómo demostrarías que el agua recogida no ha pasado por el barro sino que ha pasado por la tela del colador?

Al cabo de un buen rato no se les había ocurrido la solución, pero sí a otro grupo y se pasó a éste la solución: una alumna hizo un cuenquito de barro y puso agua y lo dejó en observación aparte a ver si el agua se perdía.

P- Lo que hizo Elena del grupo 4 está bien hecho y los científicos lo llaman un experimento control o testigo. Ahora sabéis que el barro es impermeable y que por tanto vuestro montaje con embudos de tela no funciona. ¿Cómo resolverías el problema?

Este grupo repensando el diseño llegó a uno similar al del grupo 2 que comentaré a continuación.



- Grupo 2: Se plantea el problema de calibrar un recipiente cualquiera

Diseño experimental: Cortando una botella de plástico por la mitad y utilizando la parte inferior como recipiente en el que colocaron una tira de papel cuadriculado de su cuaderno (en otros grupos usaron papel milimetrado), valoraban la permeabilidad por la distinta altura marcada en la tira de papel según la muestra investigada. (Véase Cuadro 1, figura B).

P- Muy bien el diseño, pero los científicos no miden el volumen en centímetros o milímetros, sino en mililitros. ¿Cómo convertiríais esas alturas en mililitros, es decir, en unidades de volumen?

A2- Ya sé. Se mide la altura y cómo el recipiente de recogida es cilíndrico, se aplica la fórmula del volumen del cilindro.

P- Bien, pero esta botella de plástico tiene arrugas, entrantes y saliente.

A2- Bueno, la cambio por un vaso.

P- Mira que el vaso que has traído no es tampoco cilíndrico aunque es liso. ¿A qué figura geométrica se parece?

A- A un tronco de cono. Entonces calcularía la fórmula del volumen de un tronco de cono.

P- Bueno, pero ¿no se os ocurre otra forma más sencilla de calibrar un recipiente cualquiera en mililitros?

A1- Sí, usando un vaso de preparar biberones.

P- Vale, pero no van de mililitro en mililitro. Pensad en otra cosa que sirva.

A3- (Después de un rato de dar otras soluciones poco adecuadas)... Una jeringuilla. Puedo pegar una tira de papel blanco y echar con la jeringuilla de mililitro en mililitro y anotar las marcas. Así no importa la forma que tenga el recipiente.

P- Bien. Ahora seguís teniendo el problema que tenían en el grupo 1. Parte del agua se os va por el papel de filtro. ¿Cómo lo resolverías?

Después de plantear la misma pregunta en varios grupos, en uno de ellos encontraron la solución expresada en la figura C del Cuadro 1: Poner el papel de filtro al final del cuello de la botella. Así también usaban muy poco papel de filtro.

- Grupo 3. Se plantea la noción de tabla de datos y su expresión gráfica

Diseño experimental: Cuatro vasos de yogur perforados en el fondo y tres botes de mermelada calibrados con una tira de papel en centímetro. (Cuadro 1, figura D).

P- ¿Qué variables influyen en vuestro experimento? (Pregunta hecha a todos los grupos)

A3- La tierra y el agua que echamos.

P- ¿Y podéis poner distinta cantidad de tierra y de agua en cada experimento?

A1- No, las cantidades de tierra y de agua tienen que ser iguales en todas las muestras.

P- Bien. ¿Y cómo tenéis la seguridad de que habéis puesto la misma cantidad de muestra?

A3- Hemos usado un vaso de yogur algo recortado para que quepa menos que en el embudo y lo hemos llenado en cada caso.

P- Está bien, ¿pero no se os ocurre otra forma más científica de igualar las cantidades de muestra?

A4- ¡Ah! Pesando la misma cantidad en una balanza.

P- Otro problema. ¿Cómo diseñarías la tabla de datos que permita recoger los datos y compararlos?

La pregunta anterior se formula a todos los grupos y al principio escribían los resultados de su primera prueba experimental como en una redacción, así:

Cantidad de agua vertida = 100 ml

Muestra A pasan 72 ml

Muestra B pasan 54 ml

Muestra C pasan 84 ml

Muestra D no pasa agua.

En la mayoría de los grupos tuve que introducir lo que era una tabla de datos, a partir de ello sí que llegaron fácilmente a diseñar una tabla comparativa como la siguiente:

P- Cómo expresaríais gráficamente los resultados obtenidos?

A3- Con un diagrama de barras. Aquí no se puede hacer un gráfico de línea.

P- Bien y qué pondríais en el eje X y en el eje Y?

MUESTRA	Volumen recogido (ml)

Hubo bastante dudas. Todos coincidían en poner el volumen en el eje Y, pero no sabían cómo expresar la anchura de las barras representativas de cada muestra, si tenían que estar juntas o separadas... Hubo que introducir con el programa

Harward Graphics los distintos modelos y discutir si daba lo mismo o no poner las barras en horizontal o vertical, en el eje X o en el Y

P- Otro problema. ¿Qué pasa con el agua retenida por la muestra?, ¿cómo expresarías comparativamente qué muestra ha retenido más agua y cuál es más permeable tanto en forma de tabla de datos como en forma gráfica, para que se comprenda el resultado de un vistazo?

Una vez vistas las variedades de gráficos tanto en HG como en la versión WP60 de Windows, después de discutir en los grupos fueron llegando a la Tabla 1 y Gráfico 1 siguientes:

<http://www.grao.com/imgart/images/AL/AL020522.gif> - Tabla 1

- Grupo 4: Se plantean las nociones de variable dependiente, variable independiente y gráfico de línea

Diseño experimental: Utilizan un pequeño frasco de plástico con un palillo en el tapón perforado y un frasco de recogida y miden la frecuencia de goteo de cada muestra. (Veáse Cuadro 1, figura E).

P- ¿Y este invento?

A2- Es un frasquito de medicina con el tapón perforado y medimos el número de gotas que caen por unidad de tiempo.

P- Muy interesante. ¿Y qué intervalo de tiempo habéis elegido?

A1- Nos ha costado repetirlo varias veces porque habíamos elegido un minuto y en una muestra eran demasiadas gotas las que caían y otras muy pocas. Tuvimos que fijar intervalos cada 30 segundos después de hacer tres veces todas las muestras. Ha sido una locura.

P- Habéis sufrido lo que cualquier científico. Antes de fijar un intervalo hay que hacer muchas pruebas. Como veis no se trata de hacer una ficha o guión del experimento y seguirlo. Para diseñar bien la ficha antes se ha tenido que probar muchas veces. No es fácil elegir un intervalo de medida.

P- Bien. ¿Y qué tipo de tabla de datos habéis hecho?

A3- Hemos puesto en la izquierda el tiempo en intervalos de 30 segundos y a la derecha el número de gotas recogidas en cada intervalo.

P- ¿Qué tipo de gráfico habéis elegido?

A2- Uno de línea, poniendo en el eje X los intervalos de tiempo y en el Y el número de gotas contado en cada intervalo.

P- Bien. ¿Podréis decirme consultando el libro cuál es la variable dependiente y cuál la variable independiente?

<http://www.grao.com/imgart/images/AL/AL02053U.gif> - Gráfico 1

- Grupo 5. Se sigue trabajando la noción de variables y su expresión gráfica en gráficos de línea acumulativos

Diseño experimental: Un montaje que permite a la vez comparar tres muestras de una vez en un soporte (Veáse Cuadro 1, figura F). Una vez que realizaron el experimento testigo y se dieron cuenta que el barro era impermeable no lo pusieron en el montaje.

P- ¿Qué variables medís en vuestro experimento?

A4- La muestra y el agua que se recoge.

P- Ya hemos comentado lo que hizo el grupo 1 y es lo mismo que habéis hecho vosotros en cuanto a las variables, pero ni vosotros ni ellos medís como varía el experimento en el transcurso del tiempo, cosa que si ha hecho el grupo 4. ¿Cómo diseñaríais vosotros con este montaje una tabla comparativa que mida el volumen recogido en cada intervalo de tiempo? ¿Cómo sería la representación gráfica?

Este problema se fue planteando en todos los grupos a medida que se iba progresando, y lo resolvieron bien en la forma que sigue en la Tabla 2 y Gráfico 2:

<http://www.grao.com/imgart/images/AL/AL020541.gif> - Tabla 2

<http://www.grao.com/imgart/images/AL/AL020542.gif> - Gráfico 2

P- Habéis tomado el tiempo como variable independiente. ¿Podrías haber tomado con la misma validez el volumen como variable independiente?

A3- Sí. Lo mismo da fijar intervalos de tiempo y medir cómo varía el volumen que fijar intervalos de volumen y ver cuánto tiempo transcurre en alcanzar cada intervalo de volumen fijado.

- Planteamiento de aplicaciones prácticas e introducción a la necesidad de un marco teórico

P- ¿No os ha llamado la atención el hecho de que la arena de playa que suponíamos a priori muy permeable, lo ha sido al principio y después se ha estabilizado y no ha dejado pasar más agua, se ha convertido en impermeable? ¿Podrías explicar por qué en el istmo de La Lanzada hay pozos de agua dulce entre dos zonas de mar?

Esta pregunta se formuló a todos los grupos a la vez para buscar una aplicación de lo observado en el experimento. Nadie la supo resolver. Era evidente que desconocían los aspectos teóricos sobre la permeabilidad. Al explicarles la influencia del tamaño de los granos en la muestra y dibujar cómo los granos de arena están muy clasificados, son prácticamente iguales y los de suelo vegetal o ladera no, comprendieron que por los pequeños poros que deja la arena se hace difícil la circulación del agua a no ser que haya una presión que los empuje.

El concepto se reforzó planteando problemas como si era posible tener agua dulce en una isla totalmente arenosa, o exponer la salinización de acuíferos que tienen conexión con agua salada.

La reflexión sobre la significación de la porosidad les hizo ver la importancia de tener un cuerpo teórico de conocimientos de que partir antes de emitir una hipótesis.

P- Una vez comprendida la porosidad, los grupos que habéis traído muestras húmedas o arena mojada, si daría lo mismo trabajar con muestras secas o mojadas. ¿Qué tendrías que hacer para trabajar con muestras secas?

Después de discusiones en los grupos y tras llegar a un acuerdo se llegó a la conclusión de que el mejor modo era calentar las muestras en una bandeja del horno de la cocina y una vez desecadas pesar la misma cantidad de cada muestra.

Valoración de la experiencia

Se pasó una encuesta a los alumnos para que valorasen la validez de la experiencia. Destacamos las siguientes afirmaciones:

1. Me parece muy interesante enfocar así la introducción de la actividad experimental en vez de usar una ficha guía.
2. Antes no pensaba que fuera tan complicado diseñar un modelo experimental.
3. Aprendí muy bien los conceptos de variables y la forma de representar los datos en una tabla y en un gráfico.
4. En el grupo he aprendido muchas cosas que no se me habían ocurrido.
5. La puesta en común me ha parecido muy interesante. En los grupos han surgido muchísimas ideas que no se me habrían ocurrido nunca a mí solo.
6. No creía que el concepto porosidad tuviese tantos aspectos. Me ha gustado saber por qué uno no se muere de sed en una isla arenosa en alta mar, y por qué el agua de lluvia no se mezcla con la del mar al caer en un istmo arenoso o en una isla.

Bibliografía

ANKISOLA, P. Science Laboratory Behaviour Strategies of Students to Performance in a Attitude to Laboratory Work. J. res. Sci. Teach. 1985, 22, 221-232.

BEASLEY, W. Improving Student Laboratory Performance. How much Practice makes perfect? Sci. Educ. 1985, 69, 567-576.

BUNGE, M. La investigación científica. Barcelona: Ariel, 1976.

DILLASHAW F.; PADILLA, J.; OKEY, R. The relationship between process skill and formal thinking abilities. J. Res. Sc Teac. 1983, 20, 239-246.

DUMON, A. Formar a los alumnos en el método experimental: ¿Utopía o problema superado? Enseñanza de las Ciencias, 1992, 10 (1), 25-31.

GENE, A. Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis doctoral. Biblioteca de la Facultad de Biología de la Universitat de Barcelona, 1986.

GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. La enseñanza de las ciencias en la Educación Secundaria. (Planteamientos didácticos generales y ejemplos de aplicación en las ciencias fisicoquímicas). Universidad de Barcelona, ICE-Horsori.

GONZÁLEZ, M.E. ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? Enseñanza de las Ciencias, 1992, 10 (2) 206-211.

HEMPEL, C.G. Filosofía de la Ciencia Natural. Madrid: Alianza Universidad, 1973.

HODSON, D. Assessment of Practical Work. Some considerations in Philosophy of Science. Science & Education, 1992, 1, 115-144.

LAKATOS, I. Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales. Madrid: Tecnos, 1982.

LILLO, J. Cómo fomentar los principios de actividad y creatividad al aplicar el método científico en la escuela. Enseñanza de las Ciencias, 1983, 1 (3), 193-197.

LILLO, J.; REDONET, L.F. Didáctica de las Ciencias Naturales. Valencia: Ecir, 1985.

LUCAS, A.M.; GARCÍA-RODEJA, I. Contra las interpretaciones simplistas de los resultados experimentales realizados en el aula. Enseñanza de las Ciencias, 1990, 8 (1), 11-16.

SANTELICES, L.; ASTRIZA, V.; DE LA FUENTE, R. El trabajo de laboratorio con guías estructuradas y su relación con el aprendizaje de las ciencias naturales. Enseñanza de las Ciencias, 1982, 10 (3), 340-341.

SOLOMON, J. Learning through experiment Studies in Science Education, 1988, 15, 103-108.

SOLOMON, J. A study of behaviour in the teaching laboratory. Int. J. Sci. Educ. 1989, 11 (3), 317-320.

SWAIN, J.R.L. The development of a framework for the assessment of process skills in a Graded Assessment in Science Project Int. J. Sci. Educ. 1989, 11 (3), 251-259.

TAMIR, P. What can we learn from content analysis of inquiry oriented laboratory investigations. Biology Teacher Bulletin 1981, 18, 37-41.

TAMIR, P. Training Teachers to Teach Effectively in the Laboratory. Science Education 1989, 73 (1), 56-69.

TAMIR, P.; GARCÍA, M.P. Características de los ejercicios de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias en Cataluña. Enseñanza de las Ciencias 1992, 10 (1), 3-12.

Dirección de contacto

José Lillo Beviá
Departamento de Didácticas Especiales Universidad de Vigo