

ANÁLISIS DE LA PRESENTACIÓN DEL MÉTODO CIENTÍFICO EN LIBROS DE TEXTO DE 3º Y 4º DE ESO

Manuel Fernández González

Francisco Pérez Cid

Dpto. de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universidad de Granada

Resumen: Desde hace varias décadas los enfoques didácticos defienden la idea de que el alumno no sólo conozca la ciencia, sino también cómo se elabora. El presente trabajo estudia la exposición que se hace del método científico en los manuales de 3º y 4º de ESO. Se ha tenido como referencia el Decreto de Mínimos de la ESO. Hemos constatado que el tratamiento dado al método científico en los manuales coincide en general con el del BOE. Dependiendo del manual, se han apreciado diferencias en el tratamiento del método científico, incluidas las actividades propuestas. Aspectos del mismo, como la formulación de hipótesis y la experimentación, ocupan un lugar preferente en las exposiciones. Por último, se hacen sugerencias para una mejora de la enseñanza del tema en estos niveles.

Palabras clave: Epistemología, Método científico, Enseñanza de las ciencias, Análisis de libros de texto.

The Presentation of the Scientific Method in Secondary School Textbooks in Spain

Abstract: For the last thirty years, didactic approaches have defended the idea that students should not only know about science but also about how it is created. This research examines the explanation of the scientific method in secondary school textbooks in Spain, based on official documents emitted by the Ministry of Education. The results obtained show that the textbooks are in consonance with official guidelines. These manuals, however, diverge in their explanation of the scientific method and in the activities proposed. One of the main focuses is the formulation of hypotheses and experimentation. This study concludes with a set of suggestions on how to improve the teaching of these contents at the secondary school level.

Keywords: Epistemology, Scientific method, Science teaching, Textbook analysis.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar del fuerte impacto que la ciencia y la tecnología tienen en la vida moderna y de su presencia en los currículos de todos los países, la cuestión de qué es la ciencia sigue siendo marginada. El escaso interés mostrado al tema en los currículos y la consiguiente falta

de formación del profesorado han contribuido a esta situación. Los libros de texto, por su parte, suelen esforzarse en mostrar los contenidos “duros”, omitiendo casi por completo cómo se generan y transmitiendo así a inducir una imagen acabada de la ciencia. Los profesores, por la suya, a falta de formación, enseñan de modo deficiente a sus alumnos aspectos tan fundamentales como los procedimientos de generar ciencia (McComas, 1998).

En la actualidad la situación parece ofrecer mejores perspectivas. Enfoques recientes como el CTS (Membiola, 2001) o el de alfabetización científica (Marco, 2000) han contribuido a revitalizar esta temática. La enseñanza de la naturaleza de la ciencia (NdC) es un elemento innovador en la enseñanza renovada y debe ser contemplado como esencial en el currículo de ciencias, posición que ha sido asumida por el proyecto PISA (Acevedo *et al.*, 2007).

Los expertos en didáctica de la ciencia resaltan la importancia de enseñar qué es la ciencia, cómo funciona y cómo construye sus conocimientos.

[...] hay un consenso creciente que propone incluir explícitamente en los currículos de ciencias una enseñanza sobre la ciencia misma, es decir, una enseñanza de la NdC. La importancia curricular de la NdC es cada vez más apreciada por quienes diseñan una educación científica para el siglo XXI. (Op. cit., p. 43).

Según Osborne (2003), los estudiantes, formados en una enseñanza tradicional dogmática y centrada en la ciencia misma, adquieren una idea confusa del significado de la ciencia y sus métodos. Los profesores, por su parte, poseen una visión inadecuada de la NdC. A esto se une que aunque la mayoría cree que es importante enseñarla, pocos piensan añadirla a su programación. A lo más, sostienen que basta dedicar una sesión para enseñarla. Se hace, pues, necesario instruir a los profesores en la NdC, así como diseñar programaciones adecuadas para su presentación (Abd-El-Khalick, 1998).

En cuanto a los libros de texto actuales, aunque siguen estando centrados en los contenidos conceptuales y la lógica interna de la disciplina, dejan también margen para introducir aspectos de NdC.

El presente trabajo estudia la presentación en documentos oficiales y manuales escolares de los métodos que emplean los científicos para elaborar la ciencia, analizando si prestan atención a los elementos esenciales que señalan los expertos.

2. FUNDAMENTOS

2.1. Significado del ‘método científico’

En los siglos XVI y XVII se inicia la revolución científica con la que nace la ciencia moderna. Su principal impulsor es Galileo Galilei, para quien la ciencia se genera mediante la idealización del mundo, por encima de la realidad empírica. Los conocimientos que surgen de esta manera son modelos ideales que sirven para describir el mundo real, al que se aproximan muy estrechamente (Matthews, 2004: 699). Así por ejemplo, para estudiar el fenómeno de caída libre Galileo utilizó diferentes objetos contruidos de manera que se eliminase el rozamiento con el aire. Sus hipótesis eran, pues, comprobadas con objetos ideales.

En la actualidad están presentes en el ámbito de la filosofía de la ciencia diversas corrientes. Algunas tienen sus raíces en la antigüedad, como el idealismo y el realismo, que provienen de Platón y Aristóteles, respectivamente. La primera es defendida por el operacionalismo o instrumentalismo positivista, y la segunda por el realismo científico (Losee, 1976).

Igualmente tenemos el empirismo, que defendió Francis Bacon en el siglo XVII, y que está estrechamente ligado al inductivismo. Afirma que sólo mediante los datos de la observación se pueden construir leyes y teorías. Exige, además, que las observaciones deben ser puras, realizadas sin prejuicios, para ser objetivas (Hodson, 1982). El inductivismo mantiene que la ciencia se construye yendo de los enunciados singulares a los universales (Chalmers, 1990). En la misma época el racionalismo, contrapuesto al empirismo, surge de la mano de Descartes. Ahora la preponderancia recae sobre el sujeto, en lugar del objeto. La razón humana es la guía para la construcción del conocimiento. Las matemáticas son, en consecuencia, el lenguaje de la ciencia (Rioja, 1991).

Durante el siglo XX filósofos como Popper han criticado el método inductivo, alegando que toda observación está “cargada de teoría”, porque el científico posee unos conocimientos previos que guían la interpretación de los datos observados. Según Popper, las hipótesis no pueden ser probadas de modo absoluto (en cualquier momento puede ser refutadas). Entonces, hay que verificar la hipótesis por falsación, es decir, demostrando no que es verdadera, sino que no es falsa (Hodson, 1982). No se puede decir entonces que una teoría es verdadera. Esta tesis es conocida como falsacionismo. Para los falsacionistas una hipótesis es científica sólo si es falsable y una buena teoría es aquella que sea sumamente falsable y haya resistido a la falsación siempre que se ha sometido a prueba (Chalmers, 1990).

Hoy día hay gran consenso entre los filósofos de la ciencia para admitir que el método que utilizan los científicos para hacer ciencia es un método hipotético-deductivo. En esencia, el proceso comienza partiendo de un problema que parece no encajar con lo conocido. Para tratar de explicarlo el científico emite una hipótesis, o enunciado provisional que inventa o establece. De la hipótesis se deducen consecuencias que pueden ser puestas a prueba mediante experimentos. Si la hipótesis resulta falsada se modifica y se comienza de nuevo. Si resulta verificada, pasa a formar parte del conocimiento científico (Fig. 1).

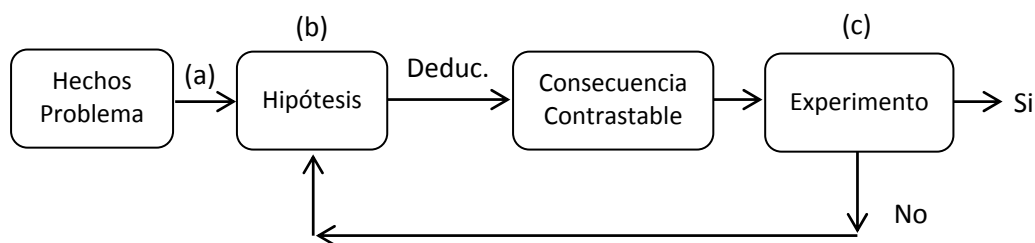


Figura 1. Esquema del método hipotético-deductivo

- (a) La elaboración de la hipótesis es la etapa más creativa.
- (b) Falsacionismo: la hipótesis debe poder someterse a prueba.
- (c) El experimento ha de ser previamente preparado y controlado.

2.2. El método científico en la enseñanza

No siempre existe consenso entre los expertos sobre el sentido que tienen los elementos que intervienen en el método científico, ni tampoco cuáles han de ser enseñados. Diversos autores han

señalado una serie de ideas sobre el método científico que son admitidas unánimemente por los expertos. Entre otras son (Vázquez, 2012):

- La ciencia se fundamenta en la información empírica.
- La observación tiene un componente subjetivo. Se dice que está “cargada de teoría”.
- La ciencia es creativa.
- Para generar ciencia: No hay un método científico único; Los experimentos no son la sola vía; Se utiliza tanto el razonamiento inductivo como el deductivo, que son parte del hipotético-deductivo.
- El conocimiento científico es provisional.

En las últimas décadas se han realizado numerosas investigaciones acerca de las preconcepciones que profesores y alumnos tienen sobre la NdC. Los resultados indican que las preconcepciones mostradas están muy influenciadas por las experiencias vividas y los mensajes que transmiten los medios de comunicación. La más extendida es la concepción empírico-inductivista y atórica de la ciencia, que defiende la neutralidad de la observación y la experimentación, sin influencia de teorías anteriores (que son realmente las que orientan el proceso de investigación) (Fernández y otros, 2002).

Otra falsa idea muy general es el considerar que solo existe un método científico. Es cierto que los científicos observan, comparan, miden, hacen hipótesis, crean, construyen teorías, etc. Sin embargo, no hay una sola secuencia de actividades que sigan todos para obtener soluciones o respuestas (Lederman *et al.*, 2002).

Además, existe una creencia bien extendida de que las hipótesis pasan a ser teorías y éstas acaban por convertirse en leyes. Esta sucesión implica que hipótesis y teorías constituyen un tipo de conocimiento menos seguro que las leyes (McComas, 1998: 54).

Un error común es también el enseñar que la ciencia está ya elaborada y acabada, sin prestar atención a la construcción de los conocimientos y su evolución. Se está separando a la ciencia de su problemática, con lo cual se oculta que el verdadero motivo de la ciencia es responder a cuestiones o explicar problemas (Vázquez y Manassero (2012).

Estas aportaciones ofrecen un compendio de ideas previas de alumnos y profesores que deben tenerse en cuenta para una enseñanza-aprendizaje más efectiva del método científico.

3. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. METODOLOGÍA A SEGUIR

Nuestra investigación surge para dar respuesta a una pregunta principal: ¿Es correcto el tratamiento que se le da al método científico en los libros actuales de 3º y 4º de ESO? La pregunta arrastra diversos interrogantes como, por ejemplo: ¿Recogen los documentos

oficiales adecuadamente las recomendaciones de los expertos? ¿Qué elementos del método científico suelen aparecer en los manuales? ¿Contemplan estos los errores más comunes de profesores y alumnos sobre la NdC y el método científico?

Para responder a los interrogantes anteriores, nos proponemos realizar las siguientes tareas.

- Elaborar un protocolo que recoja los distintos elementos del método científico y sirva de guía para el posterior análisis de los libros de texto.
- Analizar los documentos oficiales (BOE, Decreto de Mínimos de la ESO) con ayuda del protocolo anterior para comprobar si recogen las recomendaciones de la literatura didáctica sobre el método científico.
- Analizar igualmente los libros de texto de ESO (3º y 4º) de diversas editoriales y estudiar la correspondencia de sus contenidos con los del Decreto de Mínimos. Indicar los tópicos presentes y ausentes del método científico en cada uno de ellos.
- Señalar los errores sobre el método científico encontrados en los manuales.

Como paso previo a todas ellas es necesario comenzar repasando el Decreto de Mínimos de la ESO (MEC, 2007: 696-700). En los cuatro cursos podemos ver el bloque 1 (Contenidos comunes) de los cuatro cursos dedicado a la NdC. También aparecen aspectos del método científico en otros lugares (p.ej. “Galileo y el estudio experimental de la caída libre”, bloque 2, 4º ESO).

Las referencias que se hacen del método científico pueden verse en distintas secciones: Competencias básicas: Interacción con el mundo físico (p. 687). Ciencias de la Naturaleza: Preámbulo (p. 690), Contribución de la materia a la adquisición de las competencias básicas (p. 692) y Objetivos (objetivo 2, p. 693). Contenidos 3º de ESO (bloque 1, p. 696) y Criterios de evaluación (p. 697). Contenidos 4º de ESO (bloque 1, p. 698 y bloque 2, p. 699).

Así por ejemplo, en los contenidos del bloque 1 de 3º de ESO puede leerse: *Utilización de estrategias propias del trabajo científico como el planteamiento de problemas... la formulación y puesta a prueba de hipótesis y la interpretación de los resultados.*

Una vez estudiado el Decreto de Mínimos, hay que elaborar a continuación un protocolo de análisis. Las categorías que van a ser empleadas son los distintos tópicos de interés sobre el método científico que para su enseñanza han recomendado los investigadores (ver ap. 4). A partir de ahí ya puede acometerse la tarea principal: el estudio de los manuales. A fin de llevarla a cabo van a considerarse conjuntamente los cursos 3º y 4º. La razón es que, al constituir ambos un mismo ciclo, los manuales evitan repetir los contenidos. Así, la unidad 1, “Contenidos comunes”, suele desarrollarse sólo en 3º. Así pues, la revisión de manuales se puede simplificar siguiendo la guía que nos marca el programa, centrándonos entonces en la unidad 1 y en el tema “Galileo y el estudio experimental de la caída libre” (4º ESO).

Hemos seleccionado para nuestro estudio una muestra representativa de libros de texto de 3º y 4º de ESO, pertenecientes a conocidas editoriales (Anaya, SM, Bruño, Oxford, Edelvives y Santillana).

Siendo el nuestro un estudio inicial, vamos a marcar sólo la presencia de los elementos del método científico y no su frecuencia. Ello bastará para llegar a conclusiones de interés. A fin de obtener conclusiones adicionales hemos separado las exposiciones que se encuentran en el texto principal de aquellas que figuran en las actividades.

En el análisis de los contenidos hay que tener muy en cuenta que el término ‘naturaleza de la ciencia’ es amplio y abarca campos diversos como ‘la naturaleza del conocimiento científico’, ‘los métodos de la ciencia’, ‘la evolución de la ciencia’ y ‘los aspectos sociológicos de la ciencia’. Por tanto, debe evitarse confundir elementos propios del método científico con otros que, perteneciendo al ámbito de la NdC, no lo son. Por ejemplo *El experimento es una observación, acompañada de rigurosas medidas, en circunstancias preparadas por el investigador* (Anaya 3º, p. 12). El método de la ciencia es el proceso vivo de hacer ciencia por parte de los científicos, pero el enunciado anterior es una definición de experimento, no es ciencia en acción sino una reflexión sobre la ciencia ya hecha. Pertencería, pues, a otro campo de NdC que es ‘la naturaleza del conocimiento científico’. Otro ejemplo *¿Crees que las ideas de Newton invalidaron las de Galileo? ¿Y las de Einstein invalidan las dos anteriores?* (Anaya 4º, actividad, p. 81). Tampoco es ciencia en acción. Sería asignable, dentro de la NdC, al dominio de ‘la evolución de la ciencia’. Un último ejemplo *Elaboración y publicación de un informe para comunicar al mundo el descubrimiento, de modo que todas las personas puedan beneficiarse de él* (Anaya 3º, p. 20). Caería dentro de ‘la sociología de la ciencia’, que es otra parcela de la NdC.

4. ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO DE ANÁLISIS

4.1. Elementos del método científico

Se comentan a continuación diversas características del método científico que son citadas en la literatura y que, debidamente desglosadas, van a tenerse en cuenta en el análisis de los manuales.

El método científico. Generalidades. El método científico es el trabajo organizado de los científicos para producir conocimiento, es decir, para elaborar teorías, modelos o leyes. Varía en función de las particularidades de cada investigación, por tanto, no hay un método científico universal en etapas sucesivas. No obstante, es muy común la falsa creencia de que el trabajo científico estriba en seguir fielmente unas etapas ordenadas. En realidad existe una pluralidad de métodos y, por tanto, el término ‘método científico’ es una simplificación. Por tal motivo muchos autores prefieren hablar de ‘métodos de la ciencia’ o ‘procesos de la ciencia’. Sin embargo, numerosos estudios señalan una serie de características comunes a esta variedad de métodos, las cuales están suficientemente compartidas y consensuadas entre la comunidad científica.

Supuestos básicos. Toda investigación científica comienza cuando surge un problema que todavía no se ha investigado o que aparentemente contradice las teorías vigentes. Por ejemplo, “Desde el s. XVI los geógrafos advirtieron la similitud de los perfiles de las costas de África y América del Sur” (Solís y Sellés, 2005: 1134-36). En esta etapa se deben acotar las situaciones planteadas y delimitar el problema. Si es complejo conviene descomponerlo en cuestiones más simples susceptibles de ser comprobadas.

Un error frecuente a este respecto es el de considerar la observación directa de hechos o fenómenos como primer paso del método científico. Sin embargo, la observación es sólo un componente más en el surgimiento de un problema, que es lo que realmente constituye el

arranque del método científico. La observación difícilmente puede considerarse el primer paso, pues continuamente observamos fenómenos que pueden encerrar problemas, pero que no nos cuestionamos. Es la percepción de un fenómeno como problemático lo que lleva a realizar una investigación.

Otra particularidad es la influencia de la carga teórica. Toda investigación científica está influida y es guiada por las teorías y leyes aceptadas. Así pues, la carga teórica guía al científico en la formulación de problemas y preguntas. También guía la selección e interpretación de datos y las conclusiones. Por tanto, bajo ese punto de vista, el conocimiento científico es subjetivo.

Según lo dicho, puede bien comprenderse que es un error (muy extendido) considerar que el observador no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado y que la observación debe ser siempre objetiva.

Otro de los supuestos básicos que impregna en mayor o menor medida los elementos del método científico es la creatividad. Se pone de manifiesto sobre todo en la elaboración de hipótesis, pero también en la interpretación de las observaciones (inferencias), en los diseños experimentales, etc. Toda investigación científica tiene carácter creativo. El conocimiento científico se genera mediante la imaginación y el razonamiento lógico.

Hipótesis. Una hipótesis (o ‘conjetura’) es, en su sentido más general, una suposición, y, en su sentido más preciso, una explicación referida a un fenómeno observado. En cualquier caso ha de ser probada. Las hipótesis están inspiradas en el marco teórico existente. Retomando el ejemplo anterior: “Wegener, ante el problema de los perfiles de las costas, emitió la hipótesis de un continente único, Pangea”.

A partir de las hipótesis se hacen predicciones y si estas se confirman, la hipótesis se consolida. A la deducción de las consecuencias de la hipótesis se le llama inferencia. Por ejemplo, de la hipótesis de Wegener se deducía que “la estructura geológica de los terrenos de las costas de África y América del Sur había de ser idéntica”.

Al tener carácter provisional, la hipótesis ha de ser necesariamente puesta a prueba. Para ello hay que comprobar si sus predicciones o inferencias se cumplen. Si es así, la hipótesis es verificada, si por el contrario no se cumplen, entonces la hipótesis es refutada y ha de volver a formularse. Al proceso de comprobación o refutación de hipótesis se le conoce como contrastación. La contrastación de hipótesis se puede realizar por observación (es el caso de ciencias como la astronomía) o por experimentación, reproduciendo las condiciones de manera controlada en un laboratorio. Por ejemplo, “los análisis geológicos comprobaron la similitud de los terrenos de ambas costas”, en consecuencia, la hipótesis de Wegener se confirmó empíricamente.

Experimentos. Los métodos que utiliza la ciencia para probar sus ideas tienen base empírica. La hipótesis planteada debe, pues, tener elementos susceptibles de ser comprobados empíricamente, y por ello siempre implica observaciones.

Un experimento es un modo controlado de probar cuestiones de interés. Su diseño es una de las fases más creativas del método científico. Hay que usar la imaginación para idear una prueba que sea capaz de comprobar una hipótesis.

Todo experimento conlleva un control de variables, lo que supone que se mantienen fijas todas excepto dos: la variable independiente, que es la que modifica el científico, y la variable dependiente, que es la que se desea ver cómo responde.

Datos. Resultados. Los datos obtenidos, una vez realizadas las comprobaciones empíricas, deben ser reproducibles repitiendo las medidas o los experimentos. Es un requisito indispensable que otros científicos realicen el mismo experimento y comprueben que los resultados son los mismos. La reproducibilidad otorga fiabilidad a los datos.

Para elaborar nuevos conocimientos es necesaria la destreza del científico en el análisis e interpretación de los datos. Y esto es imposible sin que sea guiado por la teoría. Así pues, el conocimiento no surge directamente de los datos, sino que surge a través de un proceso de interpretación y análisis de estos. A veces ocurre que los científicos dan diferentes interpretaciones de los mismos datos. También puede ocurrir que, con el avance de la ciencia, los mismos datos puedan ser interpretados de forma diferente en el ámbito de una nueva teoría.

4.2. Protocolo de análisis

El protocolo para el análisis de exposiciones sobre el método científico recoge los elementos anteriores. Las ideas a comprobar se exponen a continuación de manera resumida.

1. El método científico.

- a) El método científico es la manera en que trabajan los científicos para producir conocimiento.
- b) No existe un único método con etapas bien definidas, sino una pluralidad de ellos.

2. Supuestos básicos.

- a) Planteamiento del problema (formular preguntas susceptibles de comprobación). Acotar las situaciones planteadas. Normalmente implica observar y analizar un fenómeno.
- b) Carga teórica. La teoría guía las observaciones. También son guiadas por la teoría la formulación de problemas / preguntas, la investigación, la selección e interpretación de datos y las conclusiones. El conocimiento científico es en parte subjetivo.
- c) Creatividad. La investigación científica tiene carácter creativo (p.ej. las hipótesis, las inferencias, los diseños experimentales, etc.).

3. Hipótesis (Modelos) en acción.

- a) Formulación (planteamiento) de hipótesis (o elaboración de modelos). Reformulación de hipótesis (si falla la anterior).
- b) Inferencia (deducción de consecuencias de las hipótesis/modelos) y predicciones. Puede también entenderse como interpretación de las observaciones.
- c) Contrastación de las hipótesis (modelos). Conduce a comprobación o refutación. Puede hacerse sólo por observación (astronomía) o por experimentación.

4. Experimentos

Un experimento es un modo controlado de probar cuestiones de interés. Siempre implica observaciones. La ciencia está basada (aunque no siempre) en la observación. Un experimento no puede probar una teoría o una hipótesis. Sólo rechaza o añade validez a éstas.

- a) Elaboración y diseño.
- b) Control de variables.

5. Datos / Resultados (una vez recogidos).

- a) Los datos/resultados deben poder replicarse repitiendo los experimentos (fiabilidad).

- b) Análisis e interpretación de datos/resultados (es necesario un conocimiento previo, ver 2b). La interpretación de resultados conduce a las conclusiones. Los conocimientos científicos no surgen directamente de los datos, sino tras un proceso de interpretación.
- c) Los resultados de la investigación no producen pruebas absolutas (pueden interpretarse de modo diferente).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Textos oficiales

Tras recorrer las distintas secciones del Decreto de Mínimos que afectan a la física y química de 3º y 4º de ESO, se exponen los resultados del análisis de los extractos encontrados acerca del método científico (Tabla 1, columna BOE). El análisis se hizo siguiendo el protocolo antes presentado. Se han estudiado conjuntamente los cursos 3º y 4º en las secciones del BOE “Competencias”, “Preámbulo”, “Objetivos”, “Contenidos” y “Criterios de evaluación”. La presencia del tópico sobre el método científico es señalada con **P**. También se marca con **(P)** la presencia atenuada, es decir, cuando no está en los contenidos y sí en otras secciones.

Se constata la atención prestada al método científico, destacando algún elemento del mismo como la formulación de hipótesis (3a) y la elaboración de diseños experimentales (4a). Por el contrario, son ignorados elementos como la pluralidad de métodos que emplean los científicos (1b), el control de variables en un experimento (4b), la necesidad de que los resultados sean replicables (5a) y la posibilidad de que unos mismos datos produzcan conclusiones diferentes (5c). Quizás estos elementos, por ser más específicos, sólo comienzan a ser tenidos en cuenta en niveles más avanzados.

Elementos	Tópicos	BOE	Anaya	SM	Bruño	Oxford	Edelv.	Santill.
1. Método científico	a) Se menciona?	P	P, e / P	P / -	P / P	P / P	P / P	P / P
	b) Plural?	---	P / -	P / -	---	P / -	---	---
2. Supuestos básicos	a) Planteam. del problema	P	P, in / -	P / -	P / P	P, e / P	P / -	P / -
	b) Carga teórica	(P)	---	---	P / -	---	P / -	---
	c) Creatividad	(P)	- / P	P / P	---	---	---	---
3. Hipótesis (Modelos)	a) Formulación (Reformulac.)	P	P / -	P / P	P / P	P / P, e	P / P	P / P
	b) Inferencias. Predicciones	(P)	P, in / -	P / -	P / -	P / P	---	---
	c) Contrastación	P	P / P	P / -	P / P	P / -	P / -	P / P
4. Diseños experiment.	a) Elaboración	P	P / P	P / -	P / P, in	P, in / P	P / P	- / P
	b) Control de variables	---	---	P / P	---	P / P	P / P	---
5. Datos / Resultados	a) Replicación	---	---	P / -	---	P / P	P / -	---
	b) Anál./Interpr. Conclusiones	P	P / -	P / -	P, in / -	P / P	P / -	P, in / -
	c) Diversidad de conclusiones	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 1. Presencia de los elementos del método científico en el BOE y en manuales de 3º y 4º de ESO

5.2. Manuales.

Analizados de la misma manera diversos manuales, se han obtenido los siguientes resultados (Tabla 1). La presencia del tópico en las actividades se señala a la derecha de la barra (/).

Hay en general una coincidencia apreciable de los contenidos en el BOE y los contenidos en los libros de texto. Quedan sin tratar aquellos tópicos que no están recogidos en el BOE y que ya hemos señalado antes (1b, 4b, 5a, 5c). Sucede lo mismo con aquellos que aparecen recogidos en el BOE de manera colateral (**P**) como son: la carga teórica que guía toda investigación (2b) o la creatividad (2c), tan necesaria a la hora de formular hipótesis o diseñar experimentos.

Los tópicos más frecuentes y que están presentes en todos los manuales analizados son: el planteamiento del problema (2a), la formulación de hipótesis (3a), la contrastación de hipótesis (3c), la elaboración de diseños experimentales (4a) y el análisis de los resultados (5b). Esto es consecuencia del esquema general de método científico que utilizan

prácticamente todos los textos: 1) observación o delimitación del problema, 2) formulación de hipótesis, 3) experimentación para contrastar la hipótesis y 4) análisis de los resultados.

Por el contrario, hay tópicos que aparecen escasamente. Así, la carga teórica como guía de toda investigación (2b) es un concepto de segundo orden, lo que puede ser el motivo de su ausencia. Por su parte, la diversidad de conclusiones (5c) puede ser interpretada como punto débil del método científico y quizás sea el motivo de su ausencia en manuales y en el BOE. Por último, resulta extraño que la creatividad del método científico (2c) tenga poca presencia en los libros de texto, lo cual revela que quizás los autores no lo creen así.

Hay que señalar tres tópicos que aparecen en buena parte de los libros analizados y no figuran en el Decreto de Mínimos: la existencia de una pluralidad de métodos (1b), el control de variables en un experimento (4b) y la posibilidad de replicar los resultados (5a).

Según los datos recogidos, algunas editoriales, como Oxford y SM, dedican mayor atención al método científico, y amplían los contenidos del BOE. Otras, como SM y Edelvives, destacan por un tratamiento claro y correcto, marcando claramente las etapas del método y utilizando ejemplos bien elegidos que apoyan la explicación suministrada. Por el contrario, editoriales como Santillana se muestran muy restrictivas, ciñéndose a los elementos más esenciales.

En cuanto a las actividades, según los datos de la tabla, nunca abarcan la totalidad de los tópicos, pero están siempre presentes en algunos como el método científico (1a), aunque la mayoría sean memorísticas. A este le siguen la formulación de hipótesis (3a) y la elaboración de diseños experimentales (4a), que se prestan más fácilmente a figurar en ellas. En cambio, otros tópicos están ausentes de las actividades (1b, 2b, 5c), o tienen poca presencia (3c, 4b), incluido algún caso en que aparecen actividades que no se mencionan en la exposición principal (p.ej. 2c en Anaya, 4a en Santillana).

Considerando globalmente la propuesta de actividades, podemos destacar a la editorial Oxford, que las ofrece variadas y abundantes. En el resto de editoriales la presencia es siempre discreta.

5.3. Estrategias de exposición y calidad de contenidos

El análisis de los manuales, además de la presencia de los diversos tópicos sobre el método científico, nos ha permitido recoger datos acerca de la estrategia de exposiciones y la calidad de contenidos. En los manuales revisados hemos podido constatar unas mismas pautas en la exposición del método científico. La secuencia habitual es una presentación de sus principales “etapas”/“fases”, para seguidamente incidir de modo más particular en cada una.

La metodología empleada es de corte tradicional, que comienza con una definición de cada elemento y sigue con ejemplos aclaratorios, frecuentemente de índole histórica. Un mismo episodio puede servir para todas las etapas (p.ej. caída de graves, Bruño 3º, p. 9; bola por un plano inclinado, SM 3º, pp. 8-9), o bien puede elegirse un ejemplo diferente para cada una (p.ej. Oxford 4º, pp. 9-10). La estrategia utilizada es presentar el proceso de investigación (histórico) como una actividad. Lo malo es que el manual suministra toda la información a la que supuestamente habría de llegar el alumno (Anaya 3º, pp. 16-19), e incluso saca también las conclusiones (Oxford 3º, p. 11). Una variante es mostrar, con apariencia de actividad, un simple experimento ilustrativo. Por ejemplo (SM 4º, p.44), la experiencia de comprobación de la ley $s \sim t^2$ del mrua, se disfraza de una comprobación de la

hipótesis (?) de que el movimiento de caída por el plano inclinado es *mrúa*. A juzgar entonces por lo visto en los manuales, la enseñanza habitual sobre el método científico es una enseñanza predominantemente pasiva, donde el alumno se limita, como máximo, a asimilar y comprender lo expuesto.

Pasando a las actividades, se constata que tampoco responden por completo a las expectativas. Presentan con frecuencia un perfil memorístico, que exige respuestas de definición o de descripción. *Resume las fases del método científico ¿Por qué decimos que el método científico es propio de las ciencias experimentales?* (Bruño 3º, p. 23). Otras, en cambio, muestran matices más creativos. Por ejemplo, aquellas que solicitan enunciar una hipótesis para un fenómeno dado. *Supón que quieres investigar cómo afecta la densidad a la capacidad de un cuerpo de flotar en el agua. a) ¿Qué hipótesis realizarías? [...]* (Oxford 3º, p. 23). Igualmente, vemos otras que piden diseñar un experimento para comprobar una hipótesis. *A partir de la siguiente hipótesis ‘todas las sustancias líquidas disminuyen de volumen al congelarse’. Diseña un experimento para comprobar si esta hipótesis no se cumple en el caso del agua.* (Santillana 3º, p. 22). Adviértase que estas dos últimas, que requieren elaborar hipótesis o diseñar experimentos, están restringidas normalmente a situaciones conocidas o familiares al alumno. Se limitan, además, a un solo elemento del método científico.

Las actividades de mayor calidad didáctica aparecen más esporádicamente. Son aquellas que abordan el método científico de manera más global y por ello más realista. Por ejemplo, las que plantean un problema y piden la emisión de una hipótesis y su comprobación experimental: *Observas que una goma elástica se alarga cuando tiras de sus extremos y te planteas qué relación puede existir entre la fuerza y el alargamiento de la goma. ¿Qué hipótesis emitirías? ¿Cómo podrías comprobar experimentalmente esta hipótesis?* (Oxford 3º, p. 24). En la misma línea, y más próxima a lo cotidiano encontramos la siguiente: *Es un hecho conocido que los objetos de hierro expuestos a la intemperie se oxidan con facilidad. a) Observa detenidamente diferentes objetos de hierro, oxidados o no, y toma nota de los datos que consideres oportuno sobre este fenómeno. b) Elabora una hipótesis que justifique por qué los objetos de hierro se oxidan a la intemperie. c) ¿Qué experimento puedes diseñar para comprobar la validez de la hipótesis? ¿Qué medidas debes realizar? [...]*. (Bruño 3º, p. 23).

Por otra parte, salvo excepciones, no es raro encontrar errores (**e**) o imprecisiones (**in**) en el tratamiento del método científico (ver tabla). Entre ellos uno muy usual, señalado en la literatura didáctica, es el de creer que el método científico comienza por la observación (p.ej. Oxford 3º, p. 9). Habrá que recordar que la observación es sólo un componente más en el surgimiento de un problema, que es lo que realmente constituye la primera etapa del método científico. Otro manual (Anaya 3º, p. 16), en cambio, defiende erróneamente la información como punto de partida.

A veces el error o la confusión aparece en una actividad. Por ejemplo, *¿Qué hipótesis plantearías para responder a las siguientes preguntas? [...]* *¿Depende el período del péndulo de la masa del cuerpo? ¿Depende de la longitud del hilo?* (Oxford 4º, p. 9). Es evidente que estas preguntas son ellas mismas las hipótesis que se piden. En algún otro caso se confunde la elaboración de la hipótesis con la inferencia a partir de ella. Así por ejemplo, como

formulación de una hipótesis se muestra: *Puesto que la Tierra es plana [...] la diferencia de ángulos se debe a [...]* (Anaya 3º, p.16).

Por otra parte, vemos en ocasiones muy sobrevalorado el papel del ordenador. Hablando de las etapas del método científico (Anaya 3º, p.14), en “Análisis de resultados” se dice *Los ordenadores permiten realizar cálculos fácilmente, manejar tablas y representar los datos de un experimento*. Aquí habría que señalar que los ordenadores no suelen analizar los resultados, sólo los organizan de forma más comprensible para que el científico los analice e interprete.

6. MATERIALES PARA UNA MEJORA DE LA ENSEÑANZA

Hemos visto que la exposición de los manuales muestra algunos aspectos poco deseables. Se han señalado varios que podríamos resumir en un desequilibrio de la parte teórica sobre la práctica. En esta línea es constatable que las actividades no son muy abundantes y entre ellas hay más de tipo memorístico que de aquellas que proporcionan alguna secuencia más completa y ajustada a la realidad de una investigación.

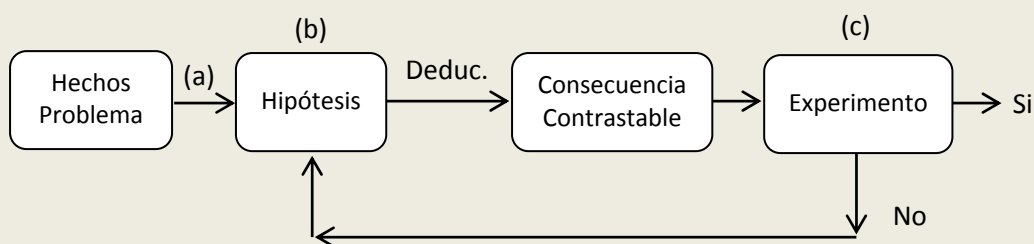
Si se quiere contrarrestar esta situación no es necesario apartarse mucho de la práctica habitual. Sugerimos, entonces, una secuencia constituida por una parte teórica mínima, seguida por otra parte práctica más amplia, donde el alumno pueda ejercitarse activamente y reflexionar sobre el método científico. Entiéndase bien que no nos proponemos elaborar una unidad didáctica. Nuestra intención es más modesta: sugerir elementos para una propuesta de mejora.

Parte teórica

Se da a continuación un esquema de lo más esencial del método científico y se aclaran los términos clave que aparecen. Para esta tarea es imprescindible incluir ejemplos (no se ha hecho aquí), como alguno de los que acabamos de ver en 5.3 (Bruño 3º, p. 9; SM 3º, pp. 8-9; Oxford 4º, pp. 9-10).

Fundamentos teóricos

El método científico es el procedimiento para producir conocimiento científico del mundo físico. Aunque para simplificar hablamos en singular, debe admitirse una gran variedad dentro de una estructura común. Lo más esencial de ésta se representa en la figura, donde se deja ver por qué el método científico se conoce como método hipotético-deductivo.



Hechos/Problema. El proceso de investigación arranca al detectarse un hecho que constituye un problema, ya que aparentemente no puede explicarse con la teoría que se conoce.

Hipótesis. Es una suposición o una explicación para explicar provisionalmente el problema surgido.

Consecuencia contrastable. Muchas veces la hipótesis no puede ser probada directamente, pero sí puede hacerse de una consecuencia deducida de ella.

Experimento. La hipótesis, o la consecuencia, ha de ser comprobada mediante un experimento que se diseña expresamente para ello. Si se cumple, pasa a formar parte del conocimiento científico. Si no se cumple, se elabora otra que se somete a prueba, repitiéndose el ciclo.

Parte práctica

Para consolidar el esquema anterior y dar contenido a los términos pueden proponerse al alumno actividades de dos tipos: de papel y lápiz y experimentales.

En cuanto a las primeras es conveniente que sean de base creativa, comenzando por aquellas centradas en un elemento (Oxford 3º, p.23; Santillana 3º, p.22), para pasar a las que abarcan dos de ellas (Oxford 3º, p.24; Bruño 3º, p.23). Pero las más completas, y que no aparecen en ningún manual, son aquellas más globales que ponen en juego todos los elementos esenciales del método científico. No es difícil elaborarlas a partir de episodios históricos. Damos un ejemplo a continuación (Actividad 1) referente al surgimiento y desarrollo de la teoría de la deriva continental, que hemos utilizado para ejemplificar los elementos del método científico (ver 4.1).

Actividad 1

Presentar esquemáticamente el proceso de investigación que se da a continuación, siguiendo el esquema del método científico. (Escribir con pocas palabras cada etapa y enmarcarla en un rectángulo. Conectar los rectángulos entre sí, indicando sobre cada uno de qué etapa se trata).

En 1915 Wegener propuso que en el periodo mesozoico los actuales continentes estaban todos unidos en uno (Pangea). La idea surgió considerando el perfil idéntico de la costa oeste de África y la costa este de Sudamérica. El mundo científico de la época acogió la idea con escepticismo por ser sumamente especulativa y no contar con argumentos sólidos que la apoyaran. Sin embargo, hace unas tres décadas, utilizando técnicas precisas, logró demostrarse que la estructura y edad de los terrenos que debían coincidir en ambas costas eran semejantes. Wegener fue rehabilitado y en la actualidad su nombre se menciona en todos los textos de geología.

También se da esquemáticamente una actividad experimental (Actividad 2) que consiste en comprobar varias hipótesis a propósito del movimiento del péndulo. La actividad es bien conocida como experimento ilustrativo de las leyes del péndulo. Por eso no se da en detalle. Aquí habría sólo que darle una orientación encaminada a la indagación científica (se señala en el esquema).

Actividad 2

Práctica: Método científico. Estudio del péndulo

Fundamentos.- [...]

Procedimiento.- [...]

Desarrollo y resultados.-

Se trata de comprobar experimentalmente tres hipótesis referidas al periodo del péndulo.

* Hipótesis 1. El periodo, T , depende del ángulo, α (para α pequeños) [...]

* Hipótesis 2. El periodo, T , depende de la masa, m , del cuerpo [...]

* Hipótesis 3. El periodo, T , depende de la longitud, L , del péndulo [...]

7. CONCLUSIONES

El trabajo realizado se ha centrado en aspectos relacionados con el método científico presentes en la enseñanza actual. Hemos comenzado estudiando particularmente los documentos curriculares oficiales, que han servido como referencia para abordar el núcleo

esencial de la investigación: el análisis de libros de texto de 3º y 4º de ESO. Se ha comprobado en ellos la presencia de los distintos elementos del método científico y su adecuación a las directrices oficiales.

Entre las principales aportaciones del trabajo hay que destacar en primer lugar la elaboración de un protocolo de análisis de documentos, donde figuran los distintos elementos y tópicos del método científico, basado en las aportaciones de autores destacados. Con su ayuda se han analizado el documento oficial de base y los libros de texto de 3º y 4º.

De este modo se ha puesto de manifiesto que en el Decreto de Mínimos, aunque faltan algunos tópicos sobre el método científico, están presentes los principales. En cuanto a los manuales, en general, hay un seguimiento apreciable de las directrices del BOE. Los tópicos que merecen mayor atención son la formulación y la contrastación de hipótesis; en cambio, otros muy importantes, como la creatividad, aparecen escasamente.

Se ha comprobado entre los manuales que el tipo de exposición más extendida es el tradicional, donde prima lo teórico, lo que conlleva una menor presencia de actividades, entre las cuales abundan las de tipo memorístico. Se han detectado también algunos errores e imprecisiones. El más extendido, que es un clásico en la literatura, es el situar la observación como primera etapa de la investigación científica.

Es de destacar, por último, que se han hecho sugerencias de mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje, encaminadas a paliar los inconvenientes encontrados.

BIBLIOGRAFÍA

- ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R.L. y LEDERMAN, N.G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417-436.
- ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A. y ACEVEDO, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 42-66.
- CHALMERS, A.F. (1990). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (10ª ed.). Madrid, Siglo XXI de España Editores.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- HODSON, D. (1982). Is there a scientific method? *Education in Chemistry*, 112-116.
- LEDERMAN, N. G., ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R. L. y SCHWARTZ, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- LOSEE, J. (1976). *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid, Alianza.
- MARCO-STIEFEL, B. (2000). La alfabetización científica. En Perales y Cañal (Dir.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 141-164. Alcoy, Marfil.
- MATTHEWS, M.R. (2004). Idealization and Galileo's Pendulum Discoveries: Historical, Philosophical and Pedagogical Considerations. *Science & Education* 13(7-8), 689-715.

McCOMAS, W.F. (1998). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrech, Kluwer Academic Publishers.

MEMBIELA, P. (Ed.) (2001). *Enseñanza de las ciencias bajo la perspectiva CTS*. Madrid, Narcea.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA (MEC) (2007). R.D. 1631/2006 de de Enseñanzas Mínimas de la ESO. *BOE*, 29-12-2006, 677-773.

OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. y DUSCHL, R. (2003). What “Ideas-about-Science” Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.

RIOJA, A. (1991). Introducción. En R. Descartes, *El mundo o el Tratado de la luz*. Madrid, Alianza.

SOLÍS, C. y SELLÉS, M. (2005). *Historia de la Ciencia*. Madrid, Espasa.

VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (Parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 2-31.

Libros de texto revisados.

3º de ESO. Física y Química. Editoriales: SM (2009), Anaya (2007), Oxford (2010), Santillana (2008), Bruño (2010), Edelvives, (2007).

4º de ESO. Física y Química. Editoriales: SM (2008), Anaya (2008), Oxford (2008), Santillana (2008), Bruño (2008), Edelvives (2008)