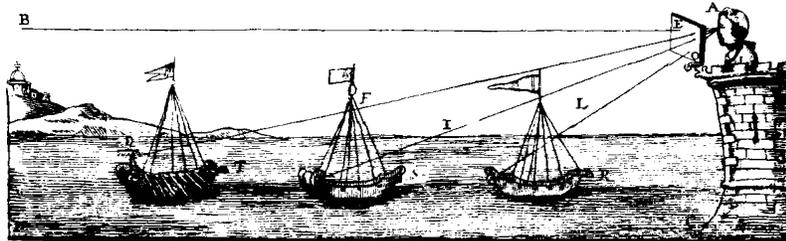


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



¿QUÉ PUEDE HACER UN PROFESOR COMO TÚ O UN ALUMNO COMO EL TUYO CON UN LIBRO DE TEXTO COMO ÉSTE? UNA RELACIÓN DE ACTIVIDADES POCO CONVENCIONALES

CAMPANARIO, JUAN MIGUEL

Grupo de Investigación en Aprendizaje de las Ciencias

Departamento de Física. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares. Madrid

juan.campanario@uah.es

www.uah.es/otrosweb/giac

SUMMARY

In this paper I suggest some non conventional activities and tasks for teachers and students to be carried out using usual science textbooks. These activities and tasks are intended to foster a deeper processing of information from the textbook and to foster learning about their own learning by students.

En este artículo se sugieren actividades y tareas poco convencionales para alumnos y profesores que pueden

realizarse utilizando los libros de texto de ciencias habituales. Con estas actividades y tareas se intenta fomentar

el procesamiento en profundidad de la información de los libros de textos por parte de los alumnos o que éstos aprendan sobre sus propios procesos de aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

No cabe duda de que el libro de texto es uno de los recursos pedagógicos más utilizados en la clase de ciencias. Para muchos profesores, la elección de un libro de texto supone su decisión curricular más importante, por lo que no es raro que este instrumento ejerza un efecto poderoso sobre sus enfoques docentes y sobre las estrategias de aprendizaje de los alumnos.

A pesar de lo extendido de su presencia, los libros de texto de ciencias se utilizan de una manera que nos parece algo limitada. En efecto, los usos principales de los libros de texto de ciencias son:

- a) fuente de información para alumnos y profesores;
- b) fuente de ejercicios y tareas de clase;
- c) fuente de preguntas y ejercicios de evaluación.

Creemos que los libros de texto de ciencias permiten unas aplicaciones más imaginativas. Incluso los aspectos negativos (por ejemplo, los errores, las lagunas en las explicaciones o las visiones deformadas de la ciencia que, a veces, transmiten...) pueden utilizarse para favorecer el aprendizaje de los alumnos. De acuerdo con lo anterior, el *objetivo principal* de este trabajo es el de ofrecer algunas sugerencias concretas para aquellos profesores y profesoras interesados en encontrar nuevos usos a sus libros de textos de ciencias. Algunos de estos usos están fundamentados en tareas y enfoques tomados de la investigación reciente en el área de comprensión de textos. Creemos que algunas de estas tareas y enfoques de investigación pueden aplicarse fácilmente a la docencia. Otras sugerencias tienen su origen en los puntos de vista actuales en filosofía de la ciencia.

Las propuestas que se presentan se han clasificado en dos grandes grupos: aquéllas que se orientan al profesor y aquéllas que se destinan a los alumnos. Las sugerencias que se ofrecen en este trabajo se orientan, fundamentalmente al *uso* de los libros de texto en el proceso de instrucción y, por tanto, se han excluido otras propuestas que se centran más en la *evaluación y análisis* de los libros de texto de cara a la *selección* de los mismos para la docencia. Así, tareas y propuestas tales como la evaluación del nivel de exigencia cognitiva de los libros de texto o su adecuación científica o didáctica no se tienen en cuenta.

Las sugerencias que se orientan a los alumnos se dividen en dos grandes grupos: aquéllas destinadas a favorecer el aprendizaje mediante un procesamiento en profundidad de la información del libro de texto y aquéllas que se orientan a favorecer el *aprendizaje sobre el propio aprendizaje* (aprendizaje metacognitivo). En los últimos años, este aspecto ha recibido una atención creciente por parte de educadores e investigadores (Campanario, Cuerva,

Moya y Otero, 1998; Campanario, 2000). Este aprendizaje sobre el propio aprendizaje se traduce, por ejemplo, entre otras, en los componentes siguientes:

- a) aprendizaje sobre los propios procesos y productos cognitivos (Flavell, 1976);
- b) aprendizaje sobre estrategias de autorregulación cognitiva (por ejemplo, estrategias de control de la propia comprensión) (Campanario, 2000);
- c) aprendizaje acerca de la naturaleza del conocimiento (por ejemplo, en el caso de la ciencia, cómo se genera, cómo se articula y cómo evoluciona).

Las actividades que se proponen en este trabajo se ilustran mediante ejemplos y contenidos concretos tomados de libros de física y química del nivel de enseñanza secundaria o primeros años de universidad.

Una parte de las propuestas que se ofrecen se basan en la experiencia personal del autor en el ejercicio de la docencia en un departamento de física en el nivel universitario. A lo largo de nuestro trabajo en dicho contexto, hemos podido comprobar cómo las aportaciones *teóricas* de la didáctica de las ciencias experimentales no siempre son entendidas o bien recibidas por los docentes. Los profesores tienden a solicitar orientación sobre medidas y estrategias *prácticas* que tengan alguna efectividad, sobre todo con alumnos de carreras como biología o similares que no destacan precisamente por su entusiasmo hacia la física. Algunas de las propuestas de actividades que se presentan tienen su origen en el deseo de responder a dichas demandas y se incluyen aquí con el ánimo de suscitar un debate acerca de su utilidad o promover algunas experiencias o investigaciones adicionales por parte de otros educadores.

No se incluyen en el trabajo algunas actividades, como la elaboración de mapas conceptuales y diagramas uve, relacionadas con los libros de texto porque son cada vez más conocidas por los profesores y se han analizado en otro trabajo previo en relación con recursos para favorecer el uso de estrategias metacognitivas de aprendizaje por parte de los alumnos (Campanario, 2000).

ACTIVIDADES PARA EL PROFESOR

Se plantean, en primer lugar, actividades orientadas al profesor con vistas a su aplicación posterior en las tareas de enseñanza. Algunas de las actividades pueden ser realizadas exclusivamente por el profesor, mientras otras pueden realizarse conjuntamente por el profesor y los alumnos.

Buscar errores y avisar a los alumnos de su presencia

Aunque generalmente se asocian los libros de texto de ciencias con el conocimiento científico certificado y correcto, no son raros en ellos los errores conceptuales

(Sanger y Greensbowe, 1999; Michinel y D'Alessandro, 1994). Es precisa una matización: en muchas ocasiones resulta conveniente presentar a los alumnos versiones simplificadas o aproximadas de los modelos y teorías científicas. Ello obliga, sin duda, a alterar la verdad y cometer, por tanto, algunos errores. No nos referimos aquí a este tipo de situaciones en que la simplificación o la aproximación resultan obligadas. Además de dichas simplificaciones y aproximaciones, los libros de texto presentan, a veces, otros errores conceptuales no intencionados.

La búsqueda y explicitación de los posibles errores debería ser una de las primeras tareas a realizar por un profesor cuando toma contacto con un libro de texto de cara a su utilización en el aula. En algunas situaciones sencillas, la búsqueda de los errores puede ser también una excelente actividad de aprendizaje para los alumnos (Whiting, 1991). La dirección de internet <<http://www.ems.psu.edu/~fraser/BadScience.html>> es una buena fuente de errores comunes en libros de texto. Algunos ejemplos se discuten a continuación.

El tema del rozamiento es uno en los que se pueden identificar sin mucha dificultad errores en libros de texto. Por ejemplo, algunos libros de texto afirman que la fuerza de rozamiento estático es igual

$$\overline{F_r} = \mu_s * \overline{N}$$

cuando es sabido que dicha ecuación determina el valor máximo de la fuerza de rozamiento estático. Otras veces se afirma que la fuerza de rozamiento es siempre contraria al movimiento o se opone a él (Aguilar, Doria, De la Rubia, 1980). Basta colocar un objeto sobre un papel y tirar suavemente del mismo con el fin de arrastrar el objeto para darse cuenta de que lo anterior es falso.

Otro ejemplo lo constituye la conocida experiencia de descomposición de la luz blanca por un prisma y su posterior recomposición mediante otro prisma. Aunque muchos libros de texto reproducen esta supuesta experiencia, basta realizarla para comprobar que las cosas no ocurren como se dice (Gauld, 1997; <http://www.ems.psu.edu/~fraser/BadScience.html>).

Una «demostración» común de que el aire pesa se basa en colgar dos globos en los extremos de una regla que cuelga a su vez. Uno de los globos está lleno de aire y el otro está desinflado. Se observa que la regla se inclina hacia el lado del globo lleno de aire y se concluye que ello demuestra que el aire pesa (Fig. 1). Esta «demostración» se basa en dos errores (<http://www.ems.psu.edu/~fraser/BadScience.html>):

- 1) No se tiene en cuenta que el aire en el globo inflado está comprimido y, por tanto, es más denso que el aire que lo rodea.
- 2) No se tiene en cuenta el empuje que ejerce el aire sobre los globos (principio de Arquímedes).

Una variante de la actividad de búsqueda de errores consiste en analizar críticamente las imágenes y representaciones de modelos que aparecen en los libros de texto. No cabe duda de que las imágenes en los libros de texto pueden contribuir a añadir información adicional que no aparece en el libro de texto. Sin embargo, en otras ocasiones las imágenes pueden ser una fuente de errores conceptuales. Por ejemplo, las representaciones tradicionales de los átomos aparecen a una escala inadecuada: las dimensiones de las órbitas de los electrones son demasiado pequeñas si se las compara con las dimensiones que se atribuyen al núcleo en las imágenes comunes. Por otra parte, las represen-

taciones tradicionales de las órbitas de los planetas en torno al Sol pueden ser la causa de una conocida preconcepción según la cual es verano cuando la Tierra está más cerca del Sol.

Incluso algunos libros de nivel universitario son algo descuidados en lo que respecta a terminología. Así, por ejemplo, en el libro de Alonso y Finn a veces se utiliza el término dirección de un vector cuando se quiere referir al sentido del mismo (Alonso y Finn, 1995, p. 458).

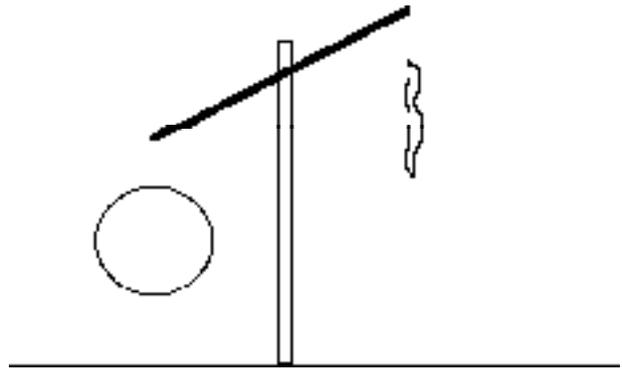
Una ventaja añadida de una actividad de búsqueda de errores en los libros de texto es que, cuando son los alumnos los que la realizan o cuando se hace saber a éstos que un libro de ciencias contiene errores, se cuestiona la supuesta infalibilidad de un instrumento escolar ampliamente utilizado.

Evaluar el nivel taxonómico de actividades y cuestiones

Los libros de texto de ciencias incluyen con frecuencia actividades para que realicen los alumnos o cuestiones para que éstos las contesten. Estas actividades y cuestiones pueden favorecer distinto tipo de aprendizaje dependiendo del nivel de exigencia de las mismas. Este nivel de exigencia se puede medir con mayor o menor fiabilidad mediante el uso de alguna taxonomía de objetivos para el aprendizaje de las ciencias.

Figura 1

«Demostración» tradicional de que el aire pesa. Esta demostración no tiene en cuenta que el aire en el globo inflado está ligeramente comprimido (es más denso) e ignora el empuje del aire sobre los dos globos (igual al peso del aire externo desalojado).



Como ejemplo de la taxonomía de Klopfer, se presenta el desarrollo del nivel más bajo de la misma.

- A. Conocimiento y comprensión
 - A.1. Conocimiento de hechos específicos
 - A.2. Conocimiento de terminología científica
 - A.3. Conocimiento de conceptos de la ciencia
 - A.4. Conocimiento de convenciones
 - A.5. Conocimiento de tendencias y secuencias
 - A.6. Conocimiento de clasificación, categorías y criterios

- A.7. Conocimiento de técnicas y procedimientos científicos
 - A.8. Conocimiento de principios y leyes científicas
 - A.9. Conocimiento de teorías o esquemas conceptuales principales
 - A.0. Identificación del conocimiento dentro de un contexto nuevo
 - A.a. Traducción del conocimiento de una forma simbólica a otra
- La tarea que se propone consiste en clasificar preguntas y actividades de un libro de texto de acuerdo con dicha taxonomía. Los niveles siguientes de la taxonomía de Klopfer son los siguientes:*
- B. Procesos de investigación científica, medición y observación
 - C. Descubrimiento de un problema y formas de resolverlo
 - D. Interpretación de los datos y formulación de generalizaciones
 - E. Construcción, prueba y revisión de un modelo teórico
 - F. Aplicación de conocimientos y métodos científicos
 - G. Destrezas manuales
 - H. Actitudes e intereses
 - I. Orientación

Como es sabido, una taxonomía es esencialmente una clasificación de objetivos de aprendizaje en distintas categorías dependiendo del nivel de dificultad o del valor que asignemos a dichos objetivos. Éstos se refieren a *capacidades* que deseamos desarrollar en los alumnos. Una de las primeras taxonomías relativas a la enseñanza de las ciencias es la de Klopfer (1975), todavía muy utilizada hoy.

La tarea que proponemos consiste en clasificar una muestra de las preguntas o actividades que aparecen en el libro según el nivel taxonómico de las destrezas requeridas para contestarlas o resolverlas.

Si esta actividad se realiza de un modo sistemático, permite al profesor averiguar qué tipo de destrezas favorecen las actividades y cuestiones que se plantean en el libro y cuál es su grado de adecuación con los objetivos que persigue el propio profesor.

Identificar visiones inadecuadas o tradicionales sobre la ciencia

Existe una amplia evidencia experimental que demuestra que los alumnos y, a veces, los profesores tienen ideas equivocadas sobre la ciencia y el conocimiento científico (Hammer, 1994; Campanario, 1998b). Estas ideas se refieren, por ejemplo, a cómo se construye, cómo evoluciona y cómo se articula el conocimiento científico. Lo mismo sucede, con frecuencia, con las ideas sobre la ciencia que presentan los libros de texto. Aunque un estudio en profundidad de estas ideas inadecuadas excede el alcance de este trabajo, a continuación se discuten brevemente algunas de las visiones sobre la ciencia que suelen aparecer en los libros de texto.

Los libros de texto suelen presentar la ciencia y los procesos científicos desde una perspectiva inductivista. Según este punto de vista, la observación es el criterio básico de validez del conocimiento científico (Lenox, 1985). Por ejemplo, muchos libros citan explícitamente un supuesto «método científico» general cuyas etapas son:

- a) observación (libre de cualquier idea previa) de la realidad que nos rodea;
- b) formulación de una hipótesis;
- c) comprobación experimental de dicha hipótesis.

La observación se concibe muchas veces como algo independiente de los conocimientos previos o de la teoría. Como ejemplo de lo extendido de la práctica anterior, un conocido libro de texto aconseja a los profesores presentar los experimentos sin una base teórica y distinguir entre *fenómenos observados* y *explicaciones propuestas por el pensamiento creativo de la mente humana* (Hodson, 1994, p. 305).

Existen contenidos que habitualmente se presentan siguiendo un punto de vista inductivista. Así, por ejemplo, la introducción de los conceptos de carga eléctrica positiva y negativa en la mayoría de los libros de texto, lo cual suele hacerse a partir de la observación de atracciones y repulsiones (Otero, 1989). Asimismo, los conceptos de ácidos y bases se presentan muchas veces a partir de las observaciones que se derivan de su actuación sobre el papel de tornasol (como si esa actuación fuese suficiente para justificar la invención de un nuevo concepto).

Otro punto de vista inadecuado acerca de cómo evoluciona la ciencia lo constituyen las visiones falsacionistas. De acuerdo con este punto de vista, las hipótesis en conflicto con los datos experimentales son rechazadas y sustituidas por otras. Sin embargo, la historia de la ciencia demuestra que algunas teorías pueden coexistir durante muchos años con datos experimentales que las contradicen (p.e., la ley de la gravitación universal).

El abandono del paradigma vitalista en química, cuya idea central es la existencia de un «principio vital» que daría sus peculiares propiedades a las sustancias orgánicas, se atribuye tradicionalmente a la síntesis de la urea por Wöhler a partir de cianato amónico (una sustancia inorgánica). Sin embargo, la historia de la química demuestra que esa síntesis no provocó, por sí misma, el abandono de dicho paradigma (Asimov, 1975). Fueron necesarios avances paralelos en bioquímica y otras síntesis de sustancias orgánicas para que se abandonase un paradigma tan arraigado.

Igualmente, existen muchas ideas tradicionales sobre la ciencia, su construcción y evolución, que vale la pena contrastar en un libro de texto.

Las ciencias «duras» son alabadas muchas veces por su poder de predicción, frente a la incapacidad de hacer lo mismo en las áreas de ciencias sociales y humanas. Aunque ésta es una idea generalmente extendida, una actividad interesante consiste en buscar predicciones en los libros de texto de ciencias. Se trata de encontrar auténticas predicciones (es bien conocido que los científicos utilizan a veces la palabra predicción de un modo poco riguroso (Brush, 1996). Por ejemplo, se suele afirmar que la teoría de la relatividad «predice» las anomalías en la órbita de Mercurio, un fenómeno conocido desde mucho antes, que, en realidad, se explica mediante dicha teoría). El resultado de dicha actividad es sorprendente: el número de predicciones auténticas es sorprendentemente bajo. Resulta interesante comparar una idea muy extendida con la realidad que se presenta en los libros de texto.

Desmitificar las visiones que se transmiten acerca de los científicos

Esta actividad está muy relacionada con la anterior. Aunque la historia de la ciencia ha recibido una atención escasa en la enseñanza tradicional, a veces los libros de texto de ciencias incluyen algunas referencias biográficas de científicos célebres (Campanario, 1998a). En general, estas biografías tienden a presentar a los grandes científicos como seres en cierta medida superiores a los demás, con capacidades intelectuales fuera de lo común y, por si fuera poco, sin ninguna tacha en su comportamiento público, personal o intelectual. Los aspectos «desagradables» de las biografías de los científicos, como sus luchas por la prioridad (Campanario, 1999) o la resistencia a aceptar nuevos descubrimientos son cuidadosamente silenciados (Campanario, 1997).

Un profesor con recursos y curiosidad por su disciplina sabrá encontrar otros libros en los que se cuestionen las imágenes alabaradas y casi hagiográficas que se transmiten a veces sobre los científicos. Por ejemplo:

a) Newton fue responsable de 19 penas de muerte desde su cargo como director de la Casa de la Moneda (Navarro y Calvo, 1978).

b) Científicos como Millikan o el propio Newton están bajo sospecha de haber manipulado datos para que ajustaran en sus teorías (Kohn, 1988).

c) Científicos célebres (como Crookes) se han interesado por la parapsicología otros; como el gran Newton, por la alquimia; otros colaboraron con las autoridades nazis en la Segunda Guerra Mundial.

d) Un científico tan célebre como Kelving es conocido por su obstinación y resistencia a aceptar determinados descubrimientos científicos (Campanario, 1997).

e) Watson y Crick, autores del modelo de la doble hélice de la molécula de DNA, mantuvieron una fiera competición con Pauling, en California, que igualmente estaba trabajando en la elaboración de un modelo para el ADN (Watson, 1970).

Estos y otros ejemplos pueden contribuir a desmitificar a los científicos. Como sabe cualquier persona que trabaje en el entorno universitario, las rencillas personales, la corrupción y las maniobras para hacerse con pequeñas parcelas de poder son comunes en un contexto que, algo ingenuamente, tiende a asociarse únicamente a la búsqueda desinteresada del conocimiento y la verdad.

Identificar aspectos que rara vez se explican o se cuestionan

Algunos aspectos de los contenidos científicos que abordan los libros de texto son dejados sistemáticamente de lado, de forma que casi nadie se pregunta por ellos.

Es bien conocida la expresión para la constante de equilibrio químico a partir de las concentraciones de reactivos y productos cuando se alcanza dicho equilibrio. Así, por ejemplo, para la reacción hipotética $A + 2B = 3C$ esta constante vale:

$$K_c = \frac{[C]^3}{[A][B]^2}$$

Resultan sorprendentes las respuestas que se obtienen cuando se pregunta a estudiantes de química de universidad (e incluso a profesores de química en ejercicio) por qué las concentraciones están elevadas a los coeficientes estequiométricos en vez de, por ejemplo, simplemente multiplicadas por dichos coeficientes como en la ecuación:

$$K = \frac{3[C]}{[A] * 2[B]}$$

Las explicaciones comunes de alumnos y profesores hacen referencia a la constante de equilibrio como un resultado experimental, sin relación alguna con ningún modelo de cinética química. Una tarea interesante es pedir a los alumnos que busquen en los libros de texto posibles explicaciones para justificar la validez de la ecuación correcta.

Otro aspecto que se deja sistemáticamente de lado en los libros de texto de ciencias es el arduo problema de la unicidad de las soluciones matemáticas que se encuentran para los equilibrios químicos. Sea, por ejemplo, el equilibrio siguiente:

$$A = B + C + D$$

y sean [a], [0], [0] y [0] las concentraciones iniciales de A, B, C y D respectivamente. Si x es la fracción de A que se disocia, en el equilibrio tenemos las concentraciones (a-x), x, x, y x para A, B, C y D respectivamente. Una vez planteada y despejada la ecuación correspondiente a la constante de equilibrio, se llega a la siguiente expresión:

$$x^3 - K*a + K*x = 0$$

Lo que rara vez se explica o se pregunta en cualquier libro de texto (incluso de nivel universitario) es por qué y cómo estamos seguros de que, aunque la ecuación anterior es de grado 3, al resolverla, sólo se obtiene una única solución con sentido químico. Sabemos que, si obtenemos soluciones negativas o con valores incompatibles con las condiciones iniciales (concentraciones), podemos rechazarlas, pero ¿cómo estamos seguros de que en este caso no obtendremos dos o tres soluciones positivas y con valores compatibles con las concentraciones iniciales? Una demostración sencilla de la unicidad de las soluciones bajo determinadas condiciones aparece en Weltin (1990).

Hacer explícitas las preguntas conceptuales que justifican los contenidos

El conocimiento científico se suele presentar a los alumnos, en el mejor de los casos, formando una estructura lógica dentro del marco amplio de la disciplina, pero sin referencias explícitas a los problemas y circunstancias que motivaron su origen ni, mucho menos, a las influencias sociales y económicas que influyeron directa o indirectamente en el planteamiento de tales problemas. Sin embargo, los científicos no trabajan en el vacío. Cuando proponen un nuevo concepto, lo hacen porque necesitan resolver problemas conceptuales. Estos problemas conceptuales que dan origen al conocimiento científico, rara vez se presentan o plantean a los alumnos.

El concepto de campo eléctrico se presenta generalmente a los alumnos en función de otras dos magnitudes (fuerza y carga). La utilidad de dicho concepto, por ejemplo, para resolver (o disimular) el problema de la acción a distancia rara vez se hace explícita. La secuencia de enseñanza tradicional tiende a insistir más en la utilidad del concepto de campo para resolver problemas numéricos de interacción electrostática. A continuación, aparecen los típicos ejercicios de aplicación en los cuales se pide calcular el campo generado por distribuciones continuas de carga. Así, no es raro que el concepto de campo se perciba únicamente como una herramienta de cálculo alejada de todo valor conceptual y desconectada del problema de la acción a distancia.

Plantear conflictos cognitivos

Con frecuencia, los alumnos estudian de manera superficial los modelos y explicaciones que aparecen en los libros de texto sin profundizar en algunas de las consecuencias que se derivan de los mismos. Una actividad útil que se propone en esta sección consiste en buscar problemas a los modelos y explicaciones que se presentan en los libros de texto de ciencias con el fin de crear en los alumnos un conflicto cognitivo que les obligue a profundizar y aclarar el modelo o la explicación.

La explicación común para la sustentación de un avión se suele formular utilizando la ecuación de Bernouilli aplicada al perfil del ala del avión. Como es sabido, este perfil obliga a que el flujo de aire se divida y, según se afirma, debido a que el aire tiene que recorrer más espacio en la superficie superior del ala (más curvada) que en la superficie inferior, su velocidad ha de ser mayor, con lo cual se produce una diferencia de presión que sostiene al avión que «cuelga» del aire. Una vez que los alumnos han comprendido el mecanismo, es posible plantearles la siguiente cuestión:

Si lo anterior es cierto, ¿cómo es posible que un avión pueda volar invertido?

Esta cuestión, probablemente, origine en los alumnos un conflicto cognitivo que, con habilidad, puede ser orientado por el profesor para que se transforme en una tarea de investigación dirigida. En principio habría que averiguar si todos los aviones pueden volar invertidos y qué explicación cabe encontrar al hecho de que algunos, al menos, sí lo puedan hacer.

Otro ejemplo lo constituye la explicación tradicional que se da a la tensión superficial en algunos libros de texto (Catalá, 1979, p. 161; Jou, Llebot y Pérez, 1994, p. 121). Según esta explicación, una molécula en el seno de un fluido es atraída por otras moléculas distribuidas en torno a ella (Fig. 2). Una molécula en la superficie de un fluido sólo puede ser atraída por las moléculas de debajo de dicha superficie. Esta atracción da lugar a una fuerza resultante que tensa la superficie.

Una vez que los alumnos han comprendido este mecanismo, se puede plantear la siguiente cuestión: Si la explicación anterior es cierta, ¿no debería acelerar (y hundirse) una molécula que está en la superficie de un líquido debido a la fuerza resultante (segunda ley de Newton)?

Incluso las definiciones que aparecen en los libros de texto pueden servir para plantear conflictos cognitivos. Todo lo que tiene que hacer el profesor es elaborar un discurso aparentemente coherente que mezcle afirmaciones correctas con suposiciones incorrectas.

La definición de potencia instantánea es:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

El trabajo que realiza una fuerza que actúa sobre un objeto que se desplaza entre los puntos a y b es:

$$W = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

Un profesor puede «complicar la vida» de sus alumnos con las siguientes cuestiones:

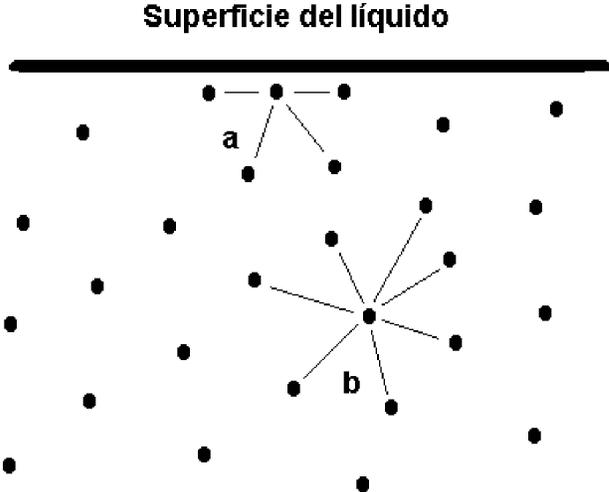
1) Dado que una integral definida es un número, el trabajo es un número y la derivada de un número es cero, ¿significa esto que la potencia instantánea es siempre cero?

2) Dado que en la definición de trabajo se plantea una integral con respecto al desplazamiento (espacio), obtenemos una función del espacio. Luego, al derivar con respecto al tiempo algo que depende del espacio, obtendremos siempre cero. ¿Correcto?

Identificar contenidos básicos que brillan por su ausencia

Los libros de texto de ciencias no incluyen todos los contenidos que un profesor puede considerar básicos y necesarios. Es muy difícil contentar a todos los profesores. Sin embargo, hay aspectos y contenidos básicos que rara vez se explican en los libros de texto y que seguramente a casi todos los profesores les parecen esenciales.

Figura 2
Una explicación tradicional de la tensión superficial. Según este modelo, una molécula en el seno de un líquido sería atraída por todas las moléculas que están alrededor. Las moléculas situadas en la superficie del líquido sólo serían atraídas por las moléculas situadas debajo. Existiría, por tanto, una fuerza resultante que, globalmente, tiene el efecto de «tensar la superficie».



Con frecuencia los alumnos tienen dificultades en las representaciones gráficas de una variable frente a otra. Para muchos alumnos, los ejes son intercambiables y no tiene importancia qué variable se representa en el eje x y cuál en el eje y. Sin embargo, a la vista de un estudio realizado por Winston y Blais, la situación anterior no debería sorprender tanto (Winston y Blais, 1996). Los autores anteriores investigaron la presencia o ausencia de definiciones de los términos variable dependiente y variable independiente en libros de texto de física y otras disciplinas. Los resultados son llamativos: comparados con los libros de psicología, sociología y biología, los libros de física general de la muestra estudiada por los autores eran los que menos uso hacían de los términos variable dependiente y variable independiente. De manera similar, muy pocos libros de física definían experimento como una manipulación o como una observación controlada.

Buscar magnitudes con valores irreales

Algunos profesores montan en cólera cuando un alumno admite alegremente, como solución a un problema, una masa de 1.000.000 kg para un volumen de un litro de un líquido desconocido. Para muchos profesores de ciencias es inadmisibles que un alumno no tenga una idea más o menos clara de cuánto es razonable que pueda pesar un litro de un líquido cualquiera. Los profesores harían bien en reprimir su natural tendencia a la cólera (o extenderla hacia algunos autores de los libros de texto) si prestasen atención a algunas de las magnitudes que intervienen en muchos ejercicios habituales que aparecen en los libros de texto de ciencias (Slisko, 1999).

No resulta raro encontrar problemas de física en los que se pide a los alumnos calcular la fuerza de interacción entre dos cargas del orden de 1 C separadas por distancias del orden de 1 metro, aunque dicha situación es irreal. Debido a la intensidad de las fuerzas repulsivas que se generarían en un objeto que contuviese una carga de dicha magnitud, debería tener un radio mayor que la distancia de separación que se propone (Slisko y Krokhn, 1995).

El uso continuado de tales problemas transforma los ejercicios de física en meras tareas de matemáticas y es incompatible con un objetivo básico del aprendizaje de las ciencias: que los alumnos obtengan una idea aproximada del valor de las magnitudes físicas y químicas más comunes. Mientras que en otros dominios, como cinemática o dinámica, se presta mucha atención a estas situaciones y se utilizan magnitudes «posibles», en electricidad se siguen planteando y resolviendo problemas con valores irreales desde el punto de vista físico para ciertas magnitudes. Probablemente la causa de ello sea que este dominio está más alejado de nuestra percepción. La identificación de este tipo de problemas, en los cuales intervienen magnitudes irreales, constituye una excelente actividad que se resuelve, fundamentalmente, mediante tareas de comparación entre magnitudes (p.e., ¿cómo tendría que ser el tamaño de un objeto para que pudiese contener 1 C de carga eléctrica?)

Buscar situaciones improbables y conflictivas

Esta interesante tarea puede ser realizada por el profesor como un paso previo para plantear conflictos cognitivos

a sus alumnos. Se trata de buscar situaciones y ejemplos poco habituales en los libros de texto, pero que tienen gran valor didáctico como fuente de tareas de cuestionamiento o de contraejemplos.

Es muy raro encontrar un ejemplo, en un libro de química, de aplicación del principio de Le Chatelier a un equilibrio problemático (Quílez, Solaz, Castelló y Sanjosé, 1993). Por ejemplo, ¿qué sucede cuando en el siguiente equilibrio se añade NH₄Br(s)?



Es bien sabido que una aplicación irreflexiva del principio de Le Chatelier nos haría predecir un desplazamiento hacia la derecha, con un aumento en la concentración de productos. Sin embargo, cualquier profesor de química sabe que, en un equilibrio heterogéneo, la concentración de las especies en fase sólida ya va incluida en la constante de equilibrio, con lo cual, si se utiliza esta constante para interpretar el equilibrio, no debería producirse ningún cambio (Quílez y Sanjosé, 1995).

Es muy extraño encontrar en los libros de texto escolares de física imágenes de objetos moviéndose en contra de la fuerza resultante. Es posible que la ausencia de estas imágenes contribuya a reforzar implícitamente la idea de que todo movimiento es siempre en el sentido de la fuerza resultante.

Identificar aspectos contraintuitivos

Es difícil negar que muchos aspectos de la descripción científica de la realidad son contraintuitivos. Precisamente la superación del sentido común y de las interpretaciones evidentes, pero erróneas, constituye una parte importante de la formación científica. El hecho de que muchas leyes de la ciencia choquen con el sentido común hace que sea todavía más difícil erradicar las ideas previas de los alumnos (preconcepciones) y sustituirlas por ideas más adecuadas desde el punto de vista científico. Sin embargo, los aspectos contraintuitivos de la ciencia pueden utilizarse en el aula, por ejemplo, en problemas y ejercicios con el objetivo de favorecer el aprendizaje de los alumnos (Campanario, 1998c). Muchas veces estos aspectos contraintuitivos no reciben la suficiente atención y se dejan implícitos o se explicitan inadecuadamente. Como consecuencia, los alumnos no son conscientes de ellos y se pierde una ocasión de oro para profundizar en el aprendizaje. En este apartado proponemos llamar explícitamente la atención de los alumnos sobre los aspectos y conclusiones contraintuitivas que se derivan de la aplicación del conocimiento científico a determinadas situaciones.

Sea la ecuación que nos permite obtener la resistencia equivalente cuando se conectan varias resistencias en paralelo:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

De esta ecuación se desprende que, si se conectan dos resistencias en paralelo, la resistencia equivalente es menor que la menor de las resistencias originales. Esta consecuencia puede explicarse fácilmente a los alumnos haciéndoles ver que se están añadiendo más caminos para que pase la corriente eléctrica. Sin embargo, no todos los libros de texto llaman la atención sobre este hecho, lo que hace que los alumnos no sean conscientes de

ello o se muestren muy sorprendidos cuando comprueban que, conectando resistencias en paralelo, la resistencia total equivalente disminuye. Este resultado va en contra de un esquema de pensamiento muy general, que podríamos formular como «a mayor causa, mayor efecto».

El hecho de que el período de oscilación de un péndulo no dependa de la masa del mismo es contrario a la intuición simple. Asimismo, el período tampoco depende de la amplitud de las oscilaciones (siempre que éstas sean pequeñas). Esta realidad puede servir para que los alumnos se den cuenta de que el tipo de movimiento que describe el péndulo es tal que se compensa una mayor amplitud con el efecto de una aceleración variable que hace que ese mayor espacio se recorra en el mismo tiempo que tarda otro péndulo que describe oscilaciones de menor amplitud. Si esto no fuese así, sería difícil utilizar el péndulo para medir el tiempo. De nuevo, aquí se rompe un esquema general de tipo «a mayor causa (mayor ángulo de oscilación), mayor efecto (mayor período)».

Romper el libro

Si, a pesar de las tareas anteriores, el libro de texto no resulta finalmente satisfactorio para el profesor, siempre le queda la alternativa de romperlo. Eso sí, un profesor imaginativo sabe sacar partido incluso de esta actividad.

Un problema interesante consiste en averiguar cuántas veces puede romperse a la mitad una hoja de un libro de texto. Se trata de dividir una hoja de dimensiones normales por la mitad y luego una de esas mitades se divide de nuevo a la mitad y así sucesivamente hasta obtener trozos del orden de magnitud de las moléculas o de los átomos (más allá admitimos que es difícil romper nada). Un problema con un resultado sorprendente, que nos ayuda a imaginar mejor el orden de las dimensiones atómicas.

ACTIVIDADES Y TAREAS ORIENTADAS AL ALUMNO

En este apartado se presentan actividades y tareas destinadas a los alumnos. Estas tareas se dividen en dos grandes grupos: tareas orientadas a favorecer un procesamiento más profundo de la información y tareas orientadas a favorecer un proceso de aprendizaje sobre el propio aprendizaje (o aprendizaje metacognitivo)

a) Procesamiento en profundidad de la información

En este apartado se presentan actividades destinadas a evitar el procesamiento superficial de la información de los textos por parte de los alumnos y a favorecer su procesamiento en profundidad.

Explicitar las condiciones de validez de leyes, ecuaciones y definiciones

Una actividad básica y que muchas veces se olvida en los libros de texto es hacer explícitas *todas* las condiciones de validez de las ecuaciones y definiciones que se presentan en las distintas unidades didácticas. Con frecuencia los alumnos no son conscientes de que tales ecuacio-

nes, e incluso las leyes físicas y químicas, son válidas, tal como se enuncian, bajo determinadas situaciones y siempre que se cumplan algunas condiciones. Dado que estas situaciones y condiciones no pueden incluirse en la propia ecuación o definición, muchas veces los alumnos no las aprenden o no les prestan la debida atención, lo cual explica algunos de los errores que cometen. El objetivo de explicitar las condiciones de validez y aplicabilidad de las leyes, ecuaciones y definiciones es, precisamente, llamar la atención de los alumnos acerca del hecho de que éstas son válidas en unas circunstancias determinadas y no son una especie de caja negra que se puede aplicar automática e indiscriminadamente.

Aunque la ecuación

$$\bar{F} = k * \frac{Qq}{r^2} \bar{n}$$

se aplica a cargas puntuales o (aproximadamente) a objetos muy alejados, de manera que las dimensiones de éstos sean despreciables frente a la distancia que los separa, los alumnos pueden ignorar esta restricción y, por ejemplo, utilizar dicha ecuación para calcular la atracción o repulsión entre las dos placas cargadas de un condensador.

Muchas ecuaciones que se incluyen en los capítulos de cinemática en los libros de física sirven únicamente para situaciones en las que la aceleración es constante. En cambio, los alumnos tienden a aplicar estas ecuaciones en cualquier situación.

En la descripción tradicional del modelo planetario del átomo, o cuando se estudia el paso de un electrón por una región en la que existe un campo eléctrico uniforme (osciloscopio), no se tiene en cuenta la atracción gravitatoria. Un ejercicio interesante consiste precisamente en comprobar que tales interacciones son despreciables frente a las interacciones eléctricas.

La ley de Gauss nos ofrece otro ejemplo del descuido con el que se tratan las condiciones de aplicabilidad y validez. La repetición de ejercicios estereotipados sobre la ley de Gauss en situaciones simétricas (que es precisamente cuando resulta útil) hace que los alumnos acaben por pensar que esta ley sólo es válida en dichas situaciones. Por otra parte, una suposición implícita cuando se aplica la ley de Gauss es que no existen más cargas en el universo o, al menos, cerca de la superficie gaussiana. En muchas ocasiones, los alumnos piensan que se puede conocer el campo eléctrico en el interior de una superficie gaussiana sin necesidad de conocer la posición de una serie de cargas fuera de dicha superficie (Salinas de Sandoval y Velazco, 1999).

Generar y clasificar preguntas

Una actividad que, a veces, se hace en clase es la lectura de un texto seguida de la contestación por parte de los alumnos de preguntas relativas al contenido del mismo. Esta actividad puede mejorarse si se altera ligeramente y se aplica el método de preguntas y respuestas propuesto por Koch y Eckstein (1991). En esencia, la tarea consiste en tres fases:

- 1) Lectura de un texto por los alumnos.
- 2) Generación de preguntas sobre el contenido del texto.
- 3) Clasificación de las preguntas en tres categorías:

- a) Preguntas cuya respuesta puede obtenerse a partir del texto.
- b) Preguntas cuya respuesta puede deducirse a partir de la información del texto.
- c) Preguntas relacionadas con el contenido del texto, pero que no pueden contestarse ni deducirse a partir de su contenido.

La última fase de la tarea ayuda a los alumnos a ser conscientes de los límites de la información y de las posibilidades que ésta ofrece para un lector capaz de formular inferencias y de utilizarla adecuadamente para descubrir aspectos que, en principio, no están explícitos. Esta actividad es útil también como toque de atención para los alumnos con mayor tendencia a la generalización inadecuada o a ir más allá de lo permitido por la información de un texto para formular conclusiones. Por otra parte, según Koch y Eckstein, esta actividad estimula la curiosidad y la creatividad, a la vez que motiva incluso a los alumnos más pesimistas, dado que se dan cuenta de que han comprendido, al menos en parte, el contenido del texto y son capaces de identificar algunas preguntas cuya respuesta se encuentra en él.

Imaginar experimentos

Existe un consenso generalizado en que el conocimiento científico se genera de una manera y se presenta de otra (Campanario, 1996). Rara vez se hace mención del proceso de descubrimiento que lleva a la formulación de las leyes científicas. Los conocimientos científicos se presentan fundamentalmente como un producto acabado, sin que los procesos y vicisitudes seguidos en su descubrimiento sean dignos de atención. Ésta es una tradición común a casi todos los sistemas educativos. En otras ocasiones, los contenidos científicos se justifican en el marco conceptual de la disciplina o se deducen a partir de principios generales.

Sin embargo, muchas de las afirmaciones que se hacen en los libros de texto y que se presentan como verdades más allá de toda duda deberían requerir algún tipo de justificación o demostración. La ausencia de estas justificaciones o demostraciones puede servir para que el profesor pueda disponer de un repertorio amplio de tareas para sus alumnos. En este caso se trata de que los alumnos imaginen experimentos que les permitan comprobar afirmaciones o leyes que se presentan en los libros de texto. El diseño de experimentos es una de las actividades con mayor nivel taxonómico que se pueden realizar en clase.

Es bien sabido que la fuerza de rozamiento entre dos objetos que se deslizan entre sí es independiente de la superficie macroscópica de contacto. Sin embargo, este rozamiento sí depende de la superficie real (microscópica) de contacto. En esta dependencia está el origen de la conocida expresión para la fuerza máxima de rozamiento:

$$\vec{F}_r = \mu_s \vec{N}$$

La superficie microscópica de contacto se incrementa con la «carga» que ha de soportar el objeto inferior y ello se refleja en

una mayor fuerza normal de interacción entre ambos objetos. Es posible diseñar un experimento para comprobar si esta interpretación es correcta. En efecto, la resistencia eléctrica entre los dos objetos en contacto debe disminuir a medida que aumenta la fuerza normal que hace que aumente la superficie microscópica de contacto (Hähner y Spencer, 1998).

Quando se alcanza un equilibrio químico, las concentraciones de reactivos y productos no cambian, aunque ambas semirreacciones, directa e inversa siguen desarrollándose. Muchos alumnos entienden superficialmente el equilibrio químico y creen que, cuando se alcanza las semirreacciones directa e inversa, se detienen. Una posible tarea, tanto para los alumnos que tienen la concepción correcta, como para aquéllos que creen que las semirreacciones se detienen, puede consistir en diseñar un experimento hipotético para comprobar que, efectivamente, en el equilibrio, ambas reacciones siguen teniendo lugar.

Los ejemplos anteriores ilustran una realidad que conviene hacer explícita a los alumnos: muchas conclusiones y afirmaciones científicas pueden comprobarse mediante experimentos reales o imaginarios. Sin embargo, estos experimentos requieren a veces medidas indirectas cuya interpretación es posible sólo en el marco conceptual global de la teoría que da sentido tanto a las afirmaciones como a las medidas.

Suponer que no se cumplen las leyes científicas o que las cosas no son como son

El mundo es como es debido a que las leyes científicas son como son. Una actividad relacionada con la comprensión de las leyes científicas consiste precisamente en tratar de imaginar cómo serían las cosas si las leyes científicas no se cumpliesen o fuesen de otra forma. Este ejercicio es útil además porque incide en una de las habilidades propias del pensamiento científico: la formulación de inferencias e hipótesis a partir de unos principios generales.

¿Qué ocurriría si no existiese la barrera energía de potencial que hace que determinadas reacciones químicas (por ejemplo, la combustión) necesiten una energía de activación para tener lugar? Algunas consecuencias notables:
 – *No existiría papel ni madera ni cualquier sustancia combustible.*
 – *Las combustiones serían rapidísimas.*
 – *La materia viva no podría existir tal como la conocemos.*

¿Qué ocurriría si no se cumpliera el principio de superposición en el movimiento ondulatorio? ¿Serían posibles las interferencias constructivas y destructivas? ¿Existiría la difracción tal como la conocemos?

¿Qué pasaría si no se cumpliera la tercera ley de Newton? Los alumnos deben intentar imaginar qué ocurriría si en determinadas superficies o direcciones privilegiadas del espacio no se cumpliera la tercera ley de Newton. Por ejemplo, supongamos que la superficie de una mesa pudiera «reaccionar» con una fuerza doble de la que se ejerce sobre ella. En esta situación, un objeto que cayese sobre la mesa sería empujado hacia arriba con una fuerza mayor que la que él ejerce sobre la mesa. Como consecuencia, rebotaría hasta una altura superior a la que estaba inicialmente. La repetición del proceso llevaría al objeto a ascender cada vez más.

¿Qué pasaría si la densidad del agua no tuviese el conocido comportamiento anómalo que se observa al variar la temperatura? Precisamente gracias a este comportamiento anómalo, cuando el agua se hiela en un lago, el hielo flota sobre la superficie y el agua a 4 °C se encuentra en el fondo, lo que permite sobrevivir a los peces. Además, el hielo aísla al fondo de las bajas temperaturas exteriores. ¿Sucedería lo mismo si el hielo fuese más denso que el agua? ¿Y si no fuese tan buen aislante?

¿Qué ocurriría si la luz no se propagase en línea recta? Supongamos que la luz se propagase en forma de líneas curvas (por ejemplo, una parábola). ¿Cómo serían, en este caso, las leyes de la reflexión y la refracción? ¿Qué tipo de imágenes se formarían en los espejos? ¿Cómo serían las sombras?

Se puede simular mediante un programa de ordenador cómo sería el movimiento de los planetas si el exponente al que está elevada r en la ley de la gravitación universal fuese 3 en vez de 2. Igualmente, se puede simular cómo sería la atracción gravitatoria entre planetas (y, por tanto, cómo serían las órbitas, en el caso de existir) con ecuaciones del tipo:

$$\bar{F} = G \frac{M+m}{r^2} \bar{n} \quad \bar{F} = G \frac{M^2 + m^2}{r^2} \bar{n} \quad \bar{F} = GM * m * r^2 * \bar{n}$$

b) Aprender sobre el propio aprendizaje

Las actividades siguientes van orientadas a favorecer el aprendizaje de los alumnos sobre el propio aprendizaje, tanto en lo que se refiere a los procesos y productos del aprendizaje, como en lo que se refiere a la naturaleza del conocimiento científico. El *aprender a aprender* se concibe tanto como un medio de mejorar el propio aprendizaje como un objetivo valioso en sí mismo. Se trata con ello de conseguir que los alumnos tomen una mayor responsabilidad en su propio aprendizaje.

Buscar la teoría que está detrás de cada dato experimental

No es infrecuente oír, incluso en boca de científicos profesionales, expresiones tales como «el contraste entre la teoría y los datos experimentales» o «existe un desajuste entre teoría y datos experimentales». Esta forma de hablar da a entender implícitamente que es posible que existan los datos experimentales como una entidad autónoma, independiente de cualquier teoría o procedimiento experimental utilizado para obtenerlos. Una actividad interesante consiste en que los alumnos busquen datos en un libro de texto e intenten identificar el método (a grandes rasgos) o la teoría que respalda el método que ha permitido obtener dichos datos.

*Un dato experimental tan común como la temperatura de fusión del hielo (0 °C) puede suscitar una pequeña investigación:
¿Cómo se obtiene ese dato? Por ejemplo, mediante un termómetro. ¿En qué se basa el termómetro? En la dilatación de un líquido. ¿Cómo se explica la dilatación? Es preciso recurrir a un modelo de la materia y a una suposición según la cual dicha dilatación varía linealmente con la temperatura... Rápidamente afloran las teorías y modelos que dan sentido a un dato numérico «experimental» aparentemente desprovisto de más complicaciones y con valor intrínseco en sí mismo.*

La actividad anterior puede utilizarse como base de un debate en el aula: ¿existen los datos experimentales puros como tales? Si no es así, ¿tiene sentido hablar de contraste entre una teoría y unos datos o sería más apropiado hablar de contraste entre una teoría y otras teorías que respaldan unos datos?

Aprender por qué las definiciones y afirmaciones sobre hechos se recuerdan mejor

Sabemos que los alumnos tienen una tendencia casi invencible a aprender, sobre todo, las definiciones que aparecen en los libros de texto y las afirmaciones sobre hechos (p.e., «el agua hierve a 100 °C»). Probablemente nuestros métodos de evaluación están premiando este tipo de conductas, pero ¿existen otros factores que faciliten esta tendencia que tanto nos disgusta? La respuesta es positiva. Los autores de los textos de ciencias tienden a utilizar un estilo característico que, indirectamente, favorece ese tipo de aprendizaje. Analicemos el siguiente fragmento inicial de un párrafo en un libro de texto de ciencias.

La energía potencial está asociada a la posición. En algunos sistemas mecánicos cuando se modifica su posición, varía su cantidad de energía. Es lo que ocurre al comprimir un muelle o al levantar un objeto; en ambos casos la energía que posee el sistema depende de la posición... En estos casos el trabajo que hacemos para comprimir el muelle o para levantar el objeto lo almacenan dichos sistemas como energía potencial. (Ruiz, Miralles, Fernández y Cotanda, 1988, p. 71.)

Es frecuente encontrar párrafos semejantes que comienzan con una definición corta o una afirmación corta sobre un hecho (Strube, 1989). Estas afirmaciones o definiciones son complementadas o desarrolladas a continuación por frases más complejas que matizan el significado o las condiciones de aplicabilidad de la primera frase. Por su propia naturaleza deben, pues, ser en general más largas y poseer una estructura más compleja, ya que se refieren a excepciones, detalles, condiciones, etc. Dado que las primeras son, normalmente, más cortas, imponen una menor carga para su procesamiento en la memoria a corto plazo y se recuerdan mejor.

Toma de conciencia sobre carácter constructivo del proceso de aprendizaje

Muchos alumnos e incluso profesores en ejercicio mantienen la creencia ingenua de que la comprensión y el aprendizaje son procesos pasivos en los que se produce una simple transferencia de información de una fuente a un recipiente más o menos vacío. De hecho, hablamos de «aprendizaje activo» cuando queremos referirnos a una actividad más «movida» que la simple lectura o estudio de un texto. Sin embargo, hoy sabemos que la comprensión y el aprendizaje es un proceso activo y constructivo en el cual las ideas previas de los alumnos interaccionan con la información que se les suministra en clase o que éstos adquieren a partir de sus libros de texto (Campanario y Otero, 2000b). Es precisamente el papel *activo* del

lector, como un procesador de información, lo que nos permite entender ciertos fenómenos comunes en el aula.

Una actividad complementaria puede consistir en la lectura de un texto seguida de una discusión acerca de las interpretaciones a las que llegan alumnos diferentes. Si esta discusión se lleva a cabo con un cierto nivel de profundidad, no es raro que surjan discrepancias en las interpretaciones a las que llegan alumnos diferentes. Ello puede ayudar a que éstos tomen conciencia de la interferencia de sus ideas previas, esquemas de pensamiento, valores, etc. y de una realidad que hoy es unánimemente admitida en psicología cognitiva: no existe un significado único de un texto, sino que éste depende de los conocimientos del lector. Cabe hablar, pues, de un significado para un texto y un lector determinados, algo que no todos los profesores saben (Campanario y Otero, 2000b).

Una sencilla actividad puede ayudar a los alumnos a tomar conciencia sobre el carácter constructivo de los procesos de aprendizaje. Esta actividad consiste en leer un texto de una o dos páginas con un contenido accesible, pero poco familiar. A continuación, los alumnos deben resumir por escrito el contenido del texto que han leído. El análisis de estos resúmenes revelará sin duda alteraciones más o menos sistemáticas tales como eliminaciones de determinados detalles o aspectos, adiciones de información que no estaba presente en el texto, interpretaciones de aspectos de acuerdo con lo que piensa el alumno, errores conceptuales debidos a la interferencia de las ideas previas, etc. Incluso, como hemos señalado en otros trabajos, no resulta raro que los alumnos impongan sus ideas previas al contenido del texto y eliminen de la representación mental del mismo incluso contradicciones explícitas (Otero, Campanario y Hopkins, 1992). La actividad que se propone en este apartado puede servir como toma de conciencia tanto a alumnos como a profesores, a la vez que les ayuda a interpretar mejor el origen de ciertas «patologías» propias de los alumnos.

Identificar la estructura retórica del texto

En una obra de teatro clásico español existe generalmente una introducción, un nudo y un desenlace. Los espectadores conocen dicha estructura y se aprovechan de este conocimiento para entender la obra. Así, por ejemplo, en la introducción de la obra se presentan los personajes que van a interactuar posteriormente. Sería muy raro que en la fase de desenlace se presentase a un nuevo personaje a no ser que tenga algo que ver con la solución del problema que se plantea en la obra.

De la misma manera, un texto científico tiene una determinada estructura. Los lectores no esperan encontrar una información amontonada, sino una información estructurada. En un artículo científico existen determinadas secciones en las que espera encontrarse determinado tipo de información (p.e., introducción, procedimiento, resultados, discusión, conclusiones). El conocimiento por parte del lector de la existencia de estas estructuras le ayuda a encajar la información que va encontrando. Van Dijk y Kintsch llaman a esta estructura *estructura esquemática de un texto* y la conciben como una especie de «molde mental» (van Dijk y Kintsch, 1983, p. 55). Meyer llama a esta estructura *estructura de alto nivel del texto* (Meyer, 1987) e identifica cinco formas básicas de organizar un discurso que corresponden a las cinco estructuras de alto nivel posibles: descripción, colección, causación, problema/solución y comparación (Campanario y Otero, 2000b). La descripción y colección corresponden a las estructuras de más bajo nivel, mien-

tras las estructuras de causación y problema/solución tienen una organización más compleja. Los lectores más eficientes identifican la estructura de alto nivel de un texto y la utilizan como una guía para localizar la información relevante del mismo (Meyer, Brandt y Bluth, 1980) (Brincones y Otero, 1994). Sin embargo, a pesar de su importancia, pocas veces se hace explícita a los lectores la estructura de alto nivel de un texto.

Se toma un fragmento de un texto y se intenta averiguar el tipo de estructura de alto nivel al que se corresponde.

- ¿Se plantea un problema conceptual y se ofrece una solución?
- ¿Se trata, por el contrario, de una mera colección de piezas de información (ej: los continentes son...)?

Calibrar la propia comprensión

Entre los problemas que han sido abordados por la investigación reciente sobre comprensión de textos cabe citar los relativos al control de la propia comprensión. Sabemos que, con frecuencia, los alumnos *no se enteran de que no se enteran* (Campanario, 1995; Campanario, Cuerva, Moya, y Otero, 1998; Campanario y Otero, 2000a). Cuando un profesor recibe la visita de un alumno con dudas, puede orientarlo para que estudie los contenidos necesarios para entender un concepto o un principio o puede ayudarle de cualquier otro modo a resolver su problema de comprensión. Cuando un alumno no tiene dudas (o cree que no las tiene) no hay nada que hacer. Como cualquier profesor sabe, muchas veces los alumnos son los primeros sorprendidos por los resultados negativos de los exámenes: creían sinceramente que sabían o comprendían mejor los contenidos de lo que en realidad los sabían o comprendían.

En el contexto de los estudios sobre comprensión de textos, Glenberg y Epstein explican que existe una pobre «calibración de la comprensión» cuando se produce un desacuerdo entre la actuación de los sujetos y sus expectativas para realizar una determinada tarea relativa al contenido de un texto (Glenberg y Epstein, 1985; Glenberg y Epstein, 1987).

En un estudio típico acerca de la capacidad para calibrar la propia comprensión se hace lo siguiente:

- 1) Los sujetos leen determinados textos.
- 2) A continuación, se les pregunta acerca de su confianza en realizar determinada tarea relacionada con el texto. Esta tarea puede consistir en responder preguntas o en formular inferencias a partir del texto (en nuestro caso, se puede incluir una tarea de contestación de cuestiones o resolución de problemas).
- 3) Los sujetos realizan la tarea.
- 4) A continuación, se compara la autoevaluación con la actuación real de los sujetos y se dan a conocer los resultados.

Este tipo de actividades de calibración de la comprensión puede realizarse fácilmente en clase con los alumnos y tienen la ventaja de que obligan a los alumnos a tomar conciencia de que, a veces, aplican criterios de

comprensión poco exigentes o sobreestiman su grado de control de la comprensión.

Analizar los niveles de generalidad de las explicaciones y modelos científicos

En muchas explicaciones y modelos científicos se mezclan magnitudes y variables observables, macroscópicas con magnitudes, variables o constructos no observables, microscópicos o abstractos. Esto hace que algunas explicaciones científicas sean realmente difíciles de visualizar y comprender en su totalidad.

¿Cómo y por qué tiene lugar la corriente eléctrica en un conductor? Un modelo sencillo de la conducción eléctrica en un metal hace referencia al movimiento de los electrones bajo el efecto de un campo eléctrico (¿por qué los electrones permanecen confinados en el metal y no «se salen» de él?). Debido a la acción de un campo eléctrico, los electrones aceleran y, por tanto, aumentan su energía cinética, pero la ceden cuando chocan con los átomos (¿chocan realmente?). Ello explica el aumento de temperatura (¿qué tiene que ver un choque de un electrón con un aumento de temperatura de un cuerpo?). Se trata de que los alumnos sean conscientes de la interrelación entre magnitudes observables y no observables, modelos abstractos y objetos o propiedades perceptibles.

La explicación del origen de los colores requiere igualmente recurrir a conceptos relacionados con magnitudes observables y a modelos abstractos sobre la estructura de la materia y la interacción entre radiación y materia. Se requieren, por tanto conocimientos de física y de química.

CONCLUSIONES

El conjunto de actividades y tareas que se ha presentado constituye un repertorio variado de propuestas para profesores e investigadores en el área de enseñanza de las ciencias. Estas actividades y tareas inciden en aspectos poco tratados habitualmente en los trabajos de investigación sobre el aprendizaje de las ciencias y a los que únicamente se ha comenzado a prestar atención en los

últimos años. En algunos casos, las propuestas están basadas en trabajos de investigación, pero en otros simplemente son el resultado de nuestra experiencia profesional, por lo que están abiertas a su contrastación y experimentación en el aula.

Las propuestas anteriores pueden ser asumidas por enfoques docentes diversos. Por ejemplo, aunque los enfoques orientados a la enseñanza de las ciencias como un proceso de investigación dirigida reconocen la importancia de la metacognición, lo cierto es que son escasas las sugerencias concretas para favorecer el aprendizaje sobre el propio aprendizaje dentro de estos enfoques. Igualmente, se insiste en que la *metacognición* desempeña un papel *central* en el cambio conceptual (Gunstone y Northfield, 1994, p. 531).

Otra ventaja de las actividades anteriores es que se pueden aplicar y desarrollar incluso en contextos de clase con muchos alumnos. Así, una queja común de los profesores (la masificación de las aulas), que en muchos casos sirve como justificación para el recurso a métodos docentes tradicionales, no tiene razón de ser aquí.

Por otra parte, las propuestas anteriores no necesitan un trabajo adicional excesivo por parte del profesor. Tal vez las actividades más problemáticas son aquellas que inciden sobre las ideas acerca de la ciencia y el conocimiento científico. Como se ha indicado más arriba, no es raro que los profesores de ciencias mantengan ideas inadecuadas sobre estos temas (Campanario, 1998b). No cabe duda de que el conseguir unas ideas más adecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico es un prerequisite para poder desarrollar algunas de las tareas que se proponen en este trabajo, pero no es menos cierto que la formación de los profesores en temas de filosofía y epistemología de la ciencia se siente cada vez más como una necesidad ineludible.

Por último, las actividades que se proponen en este artículo pueden servir como complemento a otras sugerencias generales ya discutidas que se han propuesto para fomentar el desarrollo de las capacidades metacognitivas (Campanario, 2000).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, J., DORIA, J. y DE LA RUBIA, J. (1980). *Física* Madrid: Anaya.
 ALONSO, J. y FINN, E.J. (1995). *Física*. Buenos Aires: Addison-Wesley.
 ASIMOV, I. (1985). *Breve historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.

BRINCONES, I. y OTERO, J. (1994). Student's conceptions of the top-level structure of Physics texts. *Science Education*, 78, pp. 171-183.
 BRUSH, S.G. (1996). The reception of Mendeleev's periodic law in America and Britain. *ISIS*, 87, pp. 595-628.
 CAMPANARIO, J.M. (1995). Los problemas crecen: a veces los alumnos no se enteran de que no se enteran. *Aspectos*

- Didácticos de Física y Química (Física)*, 6, pp. 87-126. Zaragoza: ICE Universidad de Zaragoza.
- CAMPANARIO, J.M. (1996). Using Citation Classics to study the incidence of serendipity in scientific discovery. *Scientometrics*, 37, pp. 3-24.
- CAMPANARIO, J.M. (1997). ¿Por qué a los científicos y a nuestros alumnos les cuesta tanto, a veces, cambiar sus ideas científicas? *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 11, pp. 31-62.
- CAMPANARIO, J.M. (1998a). Ventajas e inconvenientes de la historia de la ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11, pp. 5-14.
- CAMPANARIO, J.M. (1998b). ¿Quiénes son, qué piensan y qué saben los futuros maestros y profesores de ciencias?: Una revisión de estudios recientes. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 33, pp. 121-140.
- CAMPANARIO, J.M. (1998c). Integration of Exercises with counterintuitive solutions to the task of teaching Physics. *The Physics Teacher*, 36, pp. 439-441.
- CAMPANARIO, J.M. (1999). La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, pp. 397-410.
- CAMPANARIO, J.M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*. (En prensa, aceptado para su publicación.)
- CAMPANARIO, J.M., CUERVA, J., MOYA, A. y OTERO, J.C. (1998). *La metacognición y el aprendizaje de las ciencias en investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*, vol. I. Murcia: Diego Marín.
- CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C. (2000a). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. (En prensa, aceptado para su publicación.)
- CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C. (2000b). *La comprensión de textos de ciencias*, en Perales, F.J. y Porlán, R. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. (En prensa.)
- CATALÀ, J. (1979). *Física*. Madrid: Distribución de Publicaciones Médicas y Científicas.
- FLAVELL, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving, en Resnick, L.B. (ed.). *The nature of intelligence*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- GAULD, C. (1997). It must be true - it's in the textbook! *Australian Science Teachers' Journal*, 43, pp. 21-26.
- GLENBERG, A.M. y EPSTEIN, W. (1985). Calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology*, 11, pp. 702-718.
- GLENBERG, A.M. y EPSTEIN, W. (1987). Inexpert calibration of comprehension. *Memory and Cognition*, 15, pp. 84-93.
- GUNSTONE, R.F. y NORTHFIELD, J. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education*, 16, pp. 523-537.
- HAMMER, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics. *Cognition and Instruction*, 12, pp. 151-183.
- HÄHNER, G. y SPENCER, N. (1998). Rubbing and scrubbing. *Physics Today*, 51, pp. 22-27.
- HODSON, D. (1994) Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp. 299-313.
- JOU, D., LLEBOT, J.E. y PÉREZ, C. (1994). *Física para las ciencias de la vida*. Madrid: McGraw-Hill.
- KLOPFER, L. (1975). Evaluación del aprendizaje de la ciencia, en Bloom, B.S., Hastings, J.T. y Madaus, G.F. *Evaluación del aprendizaje*. Buenos Aires: Troquel.
- KOCH, A. y ECKSTEIN, S.G. (1991). Improvement of reading comprehension of Physics texts by students' question formulation. *International Journal of Science Education*, 13, pp. 473-458.
- KOHN, A. (1988). *Falsos profetas*. Pirámide: Madrid.
- LENOX, R.S. (1985). Education for the serendipitous discovery. *Journal of Chemical Education*, 62, pp. 283-285.
- MEYER, B. (1987). Following the author' stop level organization: An important skill for reading comprehension, en Tierney, R., Anders, P. y Mitchell, J. (eds.). *Understanding Readers Understanding*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- MEYER, B.J.F., BRANDT, D.M. y BLUTH, G.J. (1980). Use of top-level structure in text: key for reading comprehension of ninth-grade students. *Reading Research Quarterly*, 16, pp. 72-103.
- MICHINEL, J.L. y D'ALESSANDRO, A. (1994). El concepto de energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp. 369-380.
- NAVARRO, J.M. y CALVO, T. (1978). *Historia de la filosofía*. Madrid: Anaya.
- OTERO, J.C. (1989). La producción y la comprensión de la ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, pp. 223-228.
- OTERO, J.C., CAMPANARIO, J.M. y HOPKINS, K.D. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. *Educational and Psychological Measurement*, 52, pp. 419-430.
- QUÍLEZ, J. y SANJOSÉ, V. (1995). Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, pp. 72-80.
- QUÍLEZ, J., SOLAZ, J.J., CASTELLÓ, M. y SANJOSÉ, V. (1993). La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: limitaciones del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, pp. 281-288.
- RUIZ, A., MIRALLES, L., FERNÁNDEZ, M.R. y COTANDA, V. (1988). *Física y química 3º de BUP*. Valencia: Ecir.
- SALINAS DE SANDOVAL, J. y VELAZCO, S. (1999). Teorema de Gauss en electrostática: incomprensiones y dificultades de los estudiantes. *Revista Española de Física*, 13, pp. 38-42.
- SANGER, M.J. y GREENBOWE, T.J. (1999). An analysis of college Chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 76, pp. 853-856.
- SLISKO, J. (1999). ¿Cómo eliminar los errores comunes en problemas numéricos de Física escolar? *Boletín das Ciências*, 38, pp. 41-49.
- SLISKO, J. y KROKHIN, A. (1995) Physics or Fantasy? *The Physics Teacher*, 33, pp. 210-212.
- STRUBE, P. (1989). The notion of style in Physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, pp. 291-299.

VANDIJKT.A. y KINTSCH, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Academic Press: Nueva York.

WATSON, J. (1970). *La doble hélice*. Madrid: Plaza y Janés

WELTIN, E. (1990). Are the equilibrium concentrations for a chemical reaction always uniquely determined by the initial concentrations? *Journal of Chemical Education*, 67, p. 548.

WINSTON, A.S. y BLAIS, D.J. (1996). What counts as an experiment?: A transdisciplinary analysis of textbooks, 1930-1970. *American Journal of Psychology*, 109, pp. 599-616.

WHITING, W.B. (1991). Errors. A rich source of problems and examples. *Chemical Engineering Education*, 25, pp. 140-144.

[Artículo recibido en marzo de 2000 y aceptado en julio de 2000.]