

EL PROBLEMA DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN LA ACTUALIDAD (PARTE I). ANÁLISIS SOBRE LAS CAUSAS QUE LA ORIGINAN Y/O MANTIENEN

Jaime Carrascosa Alís

IES Cid Campeador. Valencia (España). jcalis@wanadoo.es

RESUMEN

En este trabajo se hace una revisión sobre los errores conceptuales que afectan a determinados conceptos científicos fundamentales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, analizando con cierto detalle cómo se originan y a qué se debe la gran persistencia de algunas de estas ideas, las cuales suponen un obstáculo importante para el aprendizaje de los conocimientos científicos con ellas relacionados.

Palabras claves: *concepciones alternativas, errores conceptuales, obstáculos en el aprendizaje.*

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se hace una revisión sobre los errores conceptuales que afectan a determinados conceptos científicos fundamentales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, analizando con cierto detalle cómo se originan y a qué se debe la gran persistencia de algunas de estas ideas, las cuales suponen un obstáculo importante para el aprendizaje de los conocimientos científicos con ellas relacionados. En un segundo trabajo analizaremos algunas estrategias educativas desde las que se puede abordar este problema y finalmente, en un tercer y último trabajo, nos detendremos en analizar una de ellas en concreto, basada en la utilización de cómics, recortes de prensa, libros y otros materiales en los que haya presentes graves errores conceptuales como un instrumento que también sirve para cuestionar las ideas alternativas asociadas a dichos errores.

Los tres trabajos a que nos hemos referido son el resultado de diversos cursos de formación del profesorado impartidos por el autor y constituyen en la actualidad uno de los módulos del Curso de Aptitud Pedagógica (CAP) que viene desarrollando en la Universitat de València. A continuación se expone el primero de ellos.

ERRORES CONCEPTUALES E IDEAS ALTERNATIVAS

Durante mucho tiempo, la enseñanza de conceptos teóricos preocupó al profesorado de ciencias bastante menos que otros aspectos como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio. Análogamente sucedía entre quienes se dedicaban a trabajos de investigación educativa sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Esta situación inicial era debida, en parte, a que los fallos en la resolución de problemas (con su alto índice de fracasos) o las carencias y limitaciones de unas

prácticas de laboratorio (apenas presentes), resultaban más preocupantes que las posibles dificultades en la comprensión de los conceptos, como mostraba el hecho de que la mayoría de los estudiantes era en la parte teórica de los exámenes donde mejores puntuaciones obtenían. No obstante, algunos pensaban que la aparente facilidad para responder a cuestiones teóricas era más bien el fruto de una simple repetición memorística. En efecto: ¿Podía hablarse de comprensión realmente aceptable de ciertos conceptos científicos básicos cuando esos alumnos no eran capaces de aplicarlos adecuadamente para resolver sencillos problemas?

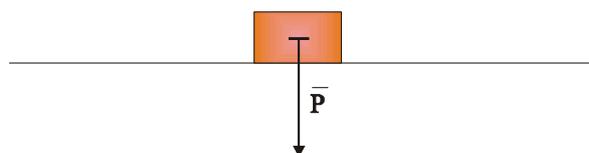
Cualquier profesor con cierta experiencia puede recordar ejemplos de respuestas "curiosas" que revelan ocasionalmente la profunda incompreensión de algún concepto clave. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones, diferentes a las habituales, lo que permitió sacar a la luz una grave y general incompreensión de incluso los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados. Una sencilla pregunta cualitativa del tipo "Una piedra cae desde cierta altura en 1 segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?" mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos de secundaria y universitarios, consideraba que una masa doble se traducía en mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto numerosos ejercicios sobre caída de graves e incluso haber realizado un estudio experimental.

La publicación de algunos estudios rigurosos como la tesis de Laurence Viennot (1979) atrajo la atención sobre el problema del aprendizaje conceptual, que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen adecuada del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos. Particularmente relevante era el hecho de que los errores que cometían no se debían a simples olvidos o a que se daban respuestas al azar, sino que se justificaban en base a determinadas ideas, las cuales eran defendidas con bastante seguridad por un gran número de estudiantes de distintos niveles educativos.

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron *errores conceptuales* se convirtiera rápidamente a partir de los años 80 en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una atención muy particular, como si eso conectara con algo que, en cierto modo, se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

Para concretar, puede ser interesante que antes de proseguir analicemos algunas sencillas cuestiones relacionadas con determinados conceptos básicos, en las que se suelen cometer errores conceptuales.

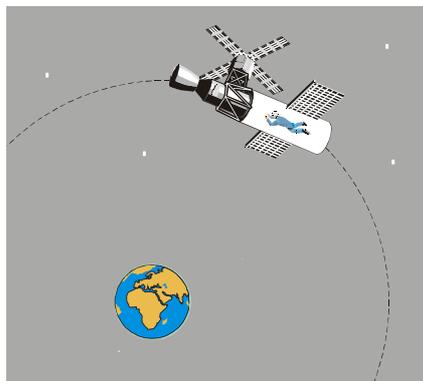
a) La figura adjunta representa un bloque que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal y la fuerza peso que actúa sobre el mismo.



Dibujad la fuerza de reacción, pareja de dicha fuerza.

b) Un astronauta se halla en órbita alrededor de la Tierra con movimiento circular y uniforme.

Explicad por qué flota dentro de la estación espacial.



En la primera de las cuestiones es bastante habitual encontrar como respuesta un vector centrado en el cuerpo y dirigido verticalmente hacia arriba oponiéndose a la fuerza peso. Naturalmente la respuesta es incoherente con el tercer principio de la dinámica ya que, en primer lugar, la fuerza peso se debe a la interacción gravitatoria entre la Tierra y el bloque, por tanto, la pareja deberá estar aplicada en la Tierra y no en el propio bloque. Por otra parte, la fuerza que ejerce el bloque sobre la superficie de la mesa nunca es el peso (aunque su módulo, en determinados casos, pueda coincidir con el del peso).

En cuanto a la segunda de las cuestiones planteadas, se suelen cometer diversos errores conceptuales, tales como afirmar que el astronauta flota porque la gravedad es muy pequeña o nula, o bien señalar que la fuerza de atracción gravitatoria se anula con la fuerza centrífuga que actúa sobre el astronauta. No se tiene en cuenta que, tanto la estación espacial como el astronauta que va dentro de ella, se encuentran sometidos a la atracción gravitatoria terrestre que en todo momento es perpendicular a la trayectoria circular que describen en torno a la Tierra. Si en un momento dado esa fuerza dejase de existir, la estación seguiría moviéndose en línea recta y con la velocidad que llevase en ese instante, tal y como se afirma en el primer principio de la dinámica. Es precisamente la existencia de esa fuerza gravitatoria lo que explica que la velocidad de la estación orbital vaya cambiando continuamente de dirección. ¿Por qué se dice entonces habitualmente que los astronautas trabajan en ausencia de gravedad?

La sensación física que tenemos acerca de nuestro propio peso se debe a la existencia de otras fuerzas que habitualmente lo equilibran. Así, por ejemplo, cuando nos colocamos encima de una balanza de baño en nuestra casa, la fuerza peso con que la Tierra nos atrae es equilibrada por la fuerza ejercida sobre nosotros por el muelle de la balanza. Nosotros notamos esa fuerza, lo mismo que la que nos hace el suelo cuando permanecemos de pie en él y esto nos da la sensación de que pesamos. A veces, la superficie sobre la que estamos nos hace una fuerza mayor que nuestro peso (y nosotros a ella), por eso notamos como si pesáramos más (aunque la Tierra nos sigue atrayendo con la misma fuerza y realmente seguimos pesando igual). Esto ocurre, por ejemplo, en el momento en que un ascensor arranca y acelera hacia arriba. En otros casos ocurre lo contrario y la fuerza que nos hace la superficie (y nosotros a ella) es menor que nuestro peso y, consecuentemente, nos da la sensación de que pesamos menos.

¿Qué ocurrirá en aquellas situaciones en las que la superficie no ejerce ninguna fuerza sobre nosotros o, simplemente, no hay ninguna superficie y estamos en caída libre?

En esos casos nos parecería que no pesamos nada. Sentimos un estado de "ingravedad" pero eso, naturalmente, no debe interpretarse como que no hay gravedad o que la Tierra ha dejado de atraernos y realmente no pesamos. Esa misma sensación la experimentan por unos segundos, los saltadores de trampolín, los paracaidistas y también (de forma continua) los astronautas en órbita alrededor de la Tierra. Así pues, cuando se dice que un astronauta está en estado de "ingravedad" debe interpretarse que se halla en caída libre, sometido a la acción de la fuerza gravitatoria terrestre sin ninguna otra fuerza que la equilibre, pero no que se encuentre en un lugar donde no exista gravedad. Flota dentro de la estación espacial análogamente a como lo haría otra persona dentro de la cabina de un ascensor al que se le hubiesen roto los cables.

Mediante las dos cuestiones anteriores hemos tenido ocasión de asomarnos al problema de los errores que suelen cometerse al plantear la utilización de algunos conceptos básicos de ciencias en determinados contextos. Dichos errores, afectan a la mayoría de los campos científicos. En el [anexo](#) incluido al final de este artículo, se exponen algunas cuestiones referidas a distintos dominios científicos (biología, mecánica, electricidad, química, etc.) sobre las que conviene reflexionar antes de seguir leyendo. Las respuestas que se consideran más aceptables son las siguientes:

1(a), 2(d), 3(b), 4(a), 5(c), 6(a), 7(b), 8(a), 9(c), 10(c), 11(b), 12(b), 13(b),
14(todos excepto el cloro), 15(c), 16(b), 17(las tres falsas), 18(b).

Sin embargo, cuando este mismo cuestionario se ha pasado a alumnos de distintos niveles y también, incluso, a profesores de ciencias en formación, se comprueba la existencia de numerosos errores. Dichos errores tienen algunas características comunes, tales como las siguientes:

- a) Se repiten insistentemente a lo largo de los distintos niveles educativos sobreviviendo a la enseñanza de conocimientos que los contradicen.
- b) Se hallan asociados con frecuencia a una determinada interpretación sobre un concepto científico dado (fotosíntesis, gravedad, fuerza, intensidad de corriente, metal, etc.) diferente a la aceptada por la comunidad científica.
- c) Se trata de respuestas que se suelen dar rápidamente y sin dudar, con el convencimiento de que están bien.
- d) Son equivocaciones que se cometen por un gran número de alumnos de distintos lugares y también, incluso, por algunos profesores.

A este tipo de respuestas, contradictorias con los conocimientos científicos vigentes, ampliamente extendidas, que se suelen dar de manera rápida y segura (apenas se dejan contestaciones en blanco), que se repiten insistentemente y que se hallan relacionadas con determinadas interpretaciones de diversos conceptos científicos, se las denomina frecuentemente *errores conceptuales* y a las ideas que llevan a cometerlos *concepciones alternativas* (porque realmente responden a la existencia de ideas muy diferentes a las ideas científicas que queremos enseñar). Esas ideas alternativas son las que en las cuestiones anteriores llevan a contestar

mayoritariamente de forma coherente con ellas y constituyen un serio obstáculo para el aprendizaje de las ciencias.

En el caso de las dos cuestiones que, a modo de ejemplo, hemos propuesto al comienzo, las ideas alternativas que orientan las respuestas erróneas que se dan con más frecuencia, suelen ser: la de pensar que la fuerza que ejerce un cuerpo sobre una superficie es el peso del cuerpo (para la primera cuestión) y la de pensar que en el vacío no hay gravedad (para la segunda cuestión).

En cuanto al [anexo](#), algunas de las ideas alternativas que pueden encontrarse detrás de los errores conceptuales que se cometen al contestar las cuestiones que lo forman, son:

- ✓ En el caso de las plantas, la fotosíntesis es vista como una forma de respirar (tomando dióxido de carbono y desprendiendo oxígeno).

- ✓ Pensar que en el vacío no hay gravedad.

- ✓ Relacionar la fuerza con el movimiento en lugar de con el cambio de movimiento. Esta idea alternativa se puede operativizar como $\vec{F} = k \cdot \vec{v}$ lo cual es muy diferente al concepto newtoniano de fuerza como magnitud relacionada con la aceleración de los cuerpos y que se operativiza como $\vec{F} = k \cdot \vec{a}$. La idea alternativa de fuerza, lleva a pensar que: sobre todo cuerpo en movimiento debe estar actuando una fuerza de tal modo que si cesa dicha fuerza el cuerpo se para y que a mayor velocidad mayor será el valor de la fuerza, que el movimiento siempre se realizará en la misma dirección y sentido que la fuerza resultante y que si, en un instante dado, la velocidad vale 0, la fuerza resultante sobre el cuerpo en dicho instante deberá ser nula.

- ✓ La idea de fuerza como causa del movimiento es coherente con la de que los objetos más pesados han de llegar antes al suelo que los más ligeros (cuando se dejan caer desde la misma altura) o más precisamente, con la idea de una proporcionalidad inversa entre el peso (o la masa) y el tiempo de caída (se piensa que, por ejemplo, a doble peso ha de tardar en caer la mitad de tiempo). En efecto, si un objeto tiene doble masa que otro y ambos se hallan a la misma altura sobre el suelo, el primero será atraído hacia el centro de la Tierra con el doble fuerza que el segundo (lo cual es cierto) y consecuentemente con la idea $\vec{F} = k \cdot \vec{v}$, deberá caer el doble de rápido (lo cual es falso).

- ✓ La idea de fuerza como causa del movimiento lleva, por ejemplo, en la cuestión 8 a señalar la propuesta b como correcta en un gran porcentaje de casos y en prácticamente todos los niveles educativos (el bloque se mueve cada vez más lento luego... ha de ejercer cada vez menos fuerza).

- ✓ Los gases no pesan. Esta idea puede explicar (al menos en parte) que muchos encuestados señalen en la cuestión 6, que el peso de (2) será menor que el de (1).

- ✓ Atribuir a los átomos propiedades "macroscópicas" para explicar toda una serie de fenómenos como la disolución, cambios de estado, dilatación, etc. Se piensa así que si el hierro funde es porque los propios átomos de hierro se funden o que si un gas se comprime son las propias partículas las que se reducen de tamaño, etc.

✓ Creer que algunos caracteres tales como adquirir un cuerpo atlético haciendo ejercicio físico se pueden transmitir a los descendientes. También que si se deja de usar algún órgano al cabo de un tiempo éste se atrofiará de tal forma que dicha atrofia afectará también a los descendientes.

✓ Pensar que de la simple suciedad pueden surgir organismos vivos.

✓ Otras ideas alternativas son: que la corriente eléctrica se gasta al pasar por una bombilla, que la luz es algo que se puede ver (igual que vemos los objetos ordinarios), que las chimeneas volcánicas llegan hasta el núcleo terrestre, que el avance global de los electrones que constituyen la corriente eléctrica continua por un cable se realiza a una velocidad enorme, etc.

Curiosamente, algunas de las ideas anteriores recuerdan a otras que se dieron durante determinados periodos de la historia de la ciencia. Tal es el caso por ejemplo, del concepto aristotélico–escolástico de fuerza, o la idea de que los elementos tienden espontáneamente a moverse hacia su lugar natural (los gases hacia arriba y por eso no pesan, las piedras hacia el centro del planeta y tanto más aprisa cuanto más proporción tengan del elemento "tierra"), el concepto de heredabilidad de caracteres defendido por Lamarck (el medio induce cambios en los hábitos de los animales, especialmente al obligarles a hacer mayor o menor uso de algunos órganos, por cuya causa se producen cambios permanentes en la especie) o la misma idea de la generación espontánea. Esta similitud es un dato que conviene tener en cuenta, dadas sus implicaciones en el diseño de estrategias de enseñanza adecuadas para afrontar el problema de las ideas alternativas.

Tanto la existencia de los errores conceptuales como la de las concepciones alternativas que llevan a los alumnos a cometer esos y no otros errores, es algo que ya se conocía desde hace mucho tiempo. Así Bachelard (1938) señalaba ya que:

"A menudo me ha sorprendido el hecho de que los profesores de ciencias, más aún que los demás si cabe, no entienden que no se comprenda. No han reflexionado sobre el hecho de que los adolescentes llegan a clase con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata pues, no de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana".

Sin embargo, no fue hasta finales de los 70 cuando, coincidiendo con la tesis doctoral de Viennot (1979) sobre las ideas espontáneas de los alumnos en dinámica, se inició un proceso sistemático de estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes, y ello no únicamente como investigación de laboratorio sino también y fundamentalmente dentro del aula, por los propios profesores especialistas en las distintas materias científicas. La importancia atribuida al tema y la relevancia de los resultados obtenidos (principalmente en el área de la mecánica) pronto hicieron que éste se convirtiese en una de las primeras líneas de investigación didáctica. Así dos décadas más tarde nos encontramos con que, tal y como se desprende de las diversas selecciones bibliográficas publicadas (McDermott, 1984; Carrascosa, 1983, 1985; Carrascosa y Gil, 1992, Varela et al., 1989, Pfundt y Duit, 1998, etc.), se han realizado ya miles de trabajos sobre el tema. Algunos de ellos han dado lugar a diversas tesis doctorales (Gené, 1986; Llorens, 1987; Carrascosa, 1987, Jiménez, 1989; Sanmartí, 1990; Cañal, 1990; Azcárate, 1990, Kaminski, 1991, Pérez Celada,

2003; etc.) y además los principales resultados obtenidos hasta hace poco, han sido ya recopilados en algunos libros (Hierrezuelo et al., 1989; Gil y Carrascosa, et al., 1991, etc.).

En la actualidad prácticamente todos los campos de las ciencias han sido analizados. Por citar sólo algunos trabajos a modo de ejemplo: la Mecánica en primer lugar (McDermott, 1984; Sebastián, 1984; Fernández, 1987; Acevedo, 1989), pero también el Calor (Macedo y Soussan, 1985; García Hourcade y Rodríguez de Avila, 1985; Cervantes, 1987), la Electricidad (Varela, et al., 1989; Furió y Guisasola, 2001; Pontes y Pro, 2001), la Óptica (De la Rosa et al., 1984; Kaminski y Viennot, 1989), la Biología (Jiménez, 1987), la Geología (Granda, 1988), la Química (Furió, 1986; Grupo Álcali, 1990; Quílez y San José, 1995; Jiménez Liso y De Manuel Torres, 2002; Furió, Azcona y Guisasola, 2002), el Magnetismo (Guisasola, Almudí y Ceberio, 2003), la Relatividad (Alemán Berenguer y Pérez Selles, 2001; Pérez Celada y Solbes, 2003), etc.

Así pues, el tema de las ideas alternativas constituye un problema de gran interés en la Didáctica de las Ciencias y como tal viene siendo, desde hace ya 3 décadas, una línea de investigación didáctica de gran importancia tal y como lo muestran los numerosos trabajos realizados en este campo. A modo de ejemplo, digamos que en la recopilación realizada por Pfundt y Duit (1998) ya se recogían miles de referencias al respecto.

Toda esta investigación no se ha limitado, claro está, a describir los errores más frecuentes sino que ha ido acompañada también de un profundo cuestionamiento de la enseñanza habitual; aunque ello no debe llevarnos a minusvalorar la aportación que han supuesto las numerosas investigaciones descriptivas, que han puesto a punto distintas técnicas para la detección de ideas alternativas y han mostrado la extensión y gravedad del problema.

A continuación veremos diferentes formas para poner de manifiesto la existencia de posibles ideas alternativas para, después, plantearnos cuáles pueden ser las causas más importantes de su origen y de su persistencia. Un análisis cuidadoso de dichas causas, nos llevará, en un segundo trabajo, a cuestionar la eficacia de la enseñanza tradicional para superar el problema y conseguir un aprendizaje de los conceptos teóricos realmente significativo, así como a la propuesta justificada de nuevas estrategias para la enseñanza de las ciencias, analizando la coherencia de las mismas con el modelo ya establecido de aprendizaje de las ciencias como investigación orientada en torno a situaciones problemáticas de interés.

INSTRUMENTOS PARA LA DETECCIÓN DE IDEAS ALTERNATIVAS

Existen diversas técnicas para identificar, clarificar y cuantificar la incidencia, de las concepciones alternativas que los alumnos tienen en los distintos campos de las ciencias.

Podemos mencionar, en primer lugar, las entrevistas clínicas, en las que se pide al alumno su opinión respecto de un problema determinado; se le hacen preguntas, mas o menos abiertas, sobre algún concepto; se le muestran dibujos que representan

situaciones o fenómenos para que los comente, etc. A menudo, estas entrevistas son grabadas para después analizarlas. Las preguntas de tipo abierto suelen utilizarse cuando no se sabe mucho acerca de las ideas que los alumnos puedan tener respecto a un concepto dado. También sirven para medir, aunque sea cualitativamente, el grado de satisfacción de cada alumno con una concepción dada (si la ve útil o no, si tiene dudas respecto a su validez, etc.). En general, tienen la ventaja de posibilitar un mayor control de las variables que pueden intervenir (edad, sexo, tipo de escuela, nivel socioeconómico, nivel académico, etc.) aunque, evidentemente, presentan los inconvenientes de la gran cantidad de tiempo que precisan y la menor generabilidad de sus resultados.

Otro instrumento es el cuestionario para ser pasado a grupos de estudiantes (como el que presentamos en el [anexo](#)). En ellos las cuestiones se diseñan de forma que, quienes sostienen una cierta concepción alternativa, dan respuestas coherentes con dicha concepción. Las cuestiones pueden ser de opción múltiple, señalar simplemente verdadero o falso a distintas afirmaciones, o de expresar, de alguna manera, el grado de acuerdo, etc. Mediante este sistema, el control de variables no es tan grande. Sin embargo al poder ser utilizados a la vez con grandes poblaciones, los cuestionarios permiten obtener unos resultados más generales. Normalmente, el diseño de este tipo de cuestiones se realiza cuando se conoce ya la existencia de determinadas concepciones alternativas y se desea disponer de algún dato cuantitativo por ejemplo en cuanto a su incidencia en un colectivo en un momento dado.

El gran interés que las cuestiones relacionadas con la posible existencia de concepciones alternativas despierta entre la mayoría del profesorado, no es en modo alguno gratuito. En efecto, en las estrategias de enseñanza más habituales se suele buscar la simple constatación de un aprendizaje puramente memorístico. Sin embargo, un aprendizaje realmente significativo, precisa de actividades problemáticas mediante las cuales los estudiantes puedan cuestionar constantemente sus propias ideas y poner a prueba, en diferentes contextos, los nuevos conocimientos que se vayan introduciendo. En este sentido, las cuestiones citadas, constituyen un poderoso instrumento para la "detección funcional" de concepciones alternativas, es decir, son actividades que pueden utilizarse no sólo como simple diagnóstico sino también, y sobre todo, para aprender y para evaluar lo aprendido, por lo que pueden jugar un papel muy importante en el tratamiento del problema de los errores conceptuales y en la mejora del aprendizaje de las ciencias en general.

Por supuesto, existen toda una serie de normas básicas a seguir para elaborar cuestionarios sobre determinadas concepciones alternativas, sobre todo cuando se trata de realizar algún trabajo de investigación. Entre ellas podemos destacar la necesidad de consultar con otros colegas especialistas en el tema, realizar algún pequeño ensayo piloto para ver si funcionan, incluir en todas ellas la opción "no lo se" con el fin de evitar en lo posible las respuestas aleatorias, etc. También se puede pedir explícitamente a los alumnos las explicaciones a sus respuestas o que den algún tipo de información acerca de lo seguros que están de la validez de las mismas (Carrascosa et al., 1991) o darles las respuestas erróneas y pedirles que expliquen por qué lo son, etc.

A pesar de que su principal propósito no es el estudio de las concepciones alternativas, los mapas conceptuales (Moreira y Novak, 1988), constituyen otro sistema con el que éstas, en caso de que se tengan, pueden ponerse de manifiesto. Ello ocurre, por ejemplo, cuando se relacionan dos conceptos de forma inadecuada (como podría ser la fuerza y la velocidad) o cuando se atribuyen determinadas cualidades a algo que no las tiene (como podría ser afirmar que las propias partículas materiales se contraen o se dilatan según disminuya o aumente la temperatura).

Finalmente conviene tener en cuenta que, en general, todas aquellas actividades problemáticas en las que los alumnos tengan que explicitar y utilizar sus ideas de partida (acertadas o no) al tratar de resolverlas, constituyen un excelente instrumento para la detección y tratamiento de posibles concepciones alternativas. En un modelo de enseñanza basado fundamentalmente en la transmisión verbal de conocimientos por parte del profesor, difícilmente pueden salir a la luz tales ideas. Lo mismo ocurre cuando se cae en una visión demasiado empirista de la ciencia y del trabajo científico (que puede afectar a profesores, alumnos y también a los propios libros de texto) con trabajos prácticos tipo receta guiada, problemas como simples ejercicios de aplicación y, en general, sin actividades en las que los estudiantes tengan ocasión de hacer ninguna hipótesis.

SOBRE EL ORIGEN Y LA PERSISTENCIA DE LAS IDEAS ALTERNATIVAS

Como es lógico resulta del mayor interés recopilar y describir pormenorizadamente el mayor número posible de concepciones alternativas en todos los dominios científicos, Sin embargo es preciso no quedarse solo ahí. Como ya señalaban acertadamente Fisher y Lipson (1988):

"Queremos advertir en contra de la simple compilación de listas y descripciones de los errores cometidos por los estudiantes. Además de ello, es necesario ir más allá y realizar un considerable esfuerzo en distinguir entre concepciones alternativas persistentes y las fáciles de cambiar, para así poder descubrir algo acerca de las causas de las resistentes y, lo que es más importante, para diseñar estrategias efectivas con el fin de producir los deseados cambios conceptuales que hagan frente a tales concepciones".

A pesar de los indudables logros ya conseguidos, este interés en profundizar y avanzar más allá de los estudios meramente descriptivos es algo que continua reclamándose desde las principales revistas de didáctica de las ciencias.

Duschl (1994), director de la revista Science Education, señala que todavía se siguen enviando a la revista una gran cantidad de manuscritos sobre "concepciones", lo que constituye, desde su punto de vista, un ejemplo de dirección errónea en cuanto a la selección del problema a investigar ya que simplemente se describen las concepciones de los estudiantes ... también apunta que es hora de avanzar más y realizar análisis que nos ayuden a comprender el origen de las concepciones o las estrategias implicadas en el uso de las mismas. (Citado en Solano, Jiménez Gómez y Marín, 2000).

Sanmartí y Azcárate (1997), en otro tiempo directora y directora adjunta de la revista Enseñanza de las Ciencias, señalaban que la mayor proporción de los manuscritos recibidos en la revista se refieren más a la descripción de concepciones que a las formas de trabajar en función de las mismas, y que después de un largo periodo de investigaciones básicamente descriptivas lo que interesa es promover trabajos interpretativos (Citado en Solano, Jiménez Gómez y Marín, 2000).

Cada vez más se reclama un marco interpretativo de las concepciones de los estudiantes. Este marco debería ser capaz de responder a multitud de preguntas como, por ejemplo: ¿De donde proceden?, ¿por qué unas son más persistentes que otras?, ¿sobre qué factores hay que incidir para favorecer el cambio conceptual?, ¿en qué momento? (Benarroch, 2001).

Responder a todas estas preguntas en un solo artículo es bastante complicado. Consecuentemente, nos limitaremos aquí a tratar el problema de las causas más importantes que se relacionan con el origen y con la persistencia de las concepciones alternativas y en un segundo trabajo nos centraremos en plantear posibles estrategias de tratamiento de las mismas.

Tanto el origen como la persistencia de las ideas alternativas en el campo de las ciencias, obedecen a diversas causas. Entre ellas podemos referirnos: a la influencia de las experiencias físicas cotidianas; la influencia del lenguaje de la calle, oral y escrito, tanto de las personas con que normalmente nos relacionamos como de los diferentes medios de comunicación (radio, televisión, cine, prensa, cómics, libros, etc.) con significados que pueden ser muy diferentes del científico; la existencia de graves errores conceptuales en algunos libros de texto; que algunos profesores tengan las mismas ideas alternativas que sus alumnos o bien que desconozcan este problema y, consecuentemente, no lo tengan en cuenta; la utilización de estrategias de enseñanza y metodologías de trabajo poco adecuadas, etc. A continuación trataremos de profundizar en algunas de dichas causas.

Influencia de las experiencias físicas cotidianas

A lo largo de nuestra vida y comenzando ya desde la más temprana infancia, la mayor parte de las personas estamos sometidas, a través de la interacción de nuestros sentidos con el medio que nos rodea, a una serie de experiencias físicas comunes independientemente del medio social y cultural en el que nos desarrollemos. Así, por ejemplo, se observa que: a menos que se esté empujando continuamente un objeto, éste acaba por pararse; que una piedra cae mucho antes que una pluma; que el vapor de agua y algunos globos llenos de gas se elevan, etc. El carácter reiterativo, sensorial y directo de dichas experiencias y, fundamentalmente, la forma habitual de interpretarlas mediante la utilización del pensamiento ordinario, conducen a interiorizar determinadas explicaciones como evidencias incuestionables. Así se elaboran, por ejemplo, ideas tales como: la asociación fuerza-movimiento, la creencia de que existe una proporcionalidad inversa entre la masa de un cuerpo y la duración de su caída, el convencimiento de que los gases no pesan, etc. Además, el hecho de que estas concepciones funcionen aparentemente bien y no lleven a resultados contradictorios en las experiencias personales que habitualmente se tienen (cruzar

una calle, hacer deporte, etc.), lleva a que se fijen en la mente con un vigor que las convierte en verdaderas barreras epistemológicas, haciendo realmente difícil que se puedan apreciar las ventajas del punto de vista científico.

Un hecho especialmente relevante, que apoya la validez de esta hipótesis, es que sean las concepciones alternativas existentes en el campo de la mecánica, las más sólidas y duraderas, en función precisamente de que es en este campo en donde las experiencias son sin duda, más directas, reiterativas y globalizadoras, de tal forma que los niños, antes de recibir ninguna instrucción científica, tienen ya preconcepciones o ideas previas bastante definidas acerca del movimiento y de las fuerzas. Ideas que, por otra parte, recuerdan bastante a ciertas concepciones que estuvieron vigentes en la física preclásica, conocida también -apropiadamente- como "la física del sentido común". Como ya señalaba Viennot:

"Factor de fracasos crónicos en la enseñanza, la mecánica es un campo en el que, tanto las experiencias cotidianas como el lenguaje corriente, pesan por completo"

No hay que olvidar que vivimos en un mundo en el que el rozamiento está omnipresente. La existencia de fuerzas de fricción en la mayoría de los fenómenos y experiencias cotidianas hacen necesaria la acción de otras fuerzas para que un cuerpo que está deslizando por una superficie no se pare y se mantenga deslizando. La interpretación superficial de estos hechos lleva a elaborar una idea de fuerza como causa del movimiento (opuesta al concepto newtoniano de fuerza de la física clásica) que se fija en la mente como una evidencia de sentido común que para nada precisa ser cuestionada.

Las preconcepciones existentes en un dominio científico **no parecen ser unas cuantas ideas** aisladas sino que, más bien, guardan **entre sí una cierta coherencia interna que** las refuerza, lo que se da especialmente en **el caso de la mecánica (Carrascosa y Gil, 1992)**. Ello explica que muchos autores se **refieran a esquemas o marcos conceptuales** alternativos.

En cualquier caso, lo importante no es sólo que los niños tengan determinadas preconcepciones más o menos estructuradas, sino que la enseñanza habitual, tras muchos años insistiendo en los mismos problemas, apenas tenga incidencia sobre ellas y los alumnos, ya universitarios, no sólo sigan arrastrando las mismas preconcepciones sobre mecánica que cuando estaban en la escuela, sino que además estén más seguros que al principio acerca de su validez y las defiendan con mayor apasionamiento.

La existencia de concepciones alternativas profundamente arraigadas y difíciles de cambiar no es, pues, general ni afecta por igual a todos los ámbitos del conocimiento científico. Por el contrario, existen profundas diferencias que muestran cómo las más persistentes son aquellas que están más intensamente relacionadas con las experiencias personales cotidianas, con las "evidencias de sentido común" que no necesitan ser cuestionadas (Carrascosa et al., 1991; Campanario 1995).

Influencia de la comunicación verbal, visual y escrita

El lenguaje habitual esta formado por palabras cuyo significado es fruto de las experiencias cotidianas vividas y sedimentadas por otras generaciones que nos han precedido, luego no es de extrañar que, en ocasiones, sea causa del origen o persistencia de ciertas ideas alternativas.

Una gran parte de los nombres con que se designan los conceptos científicos provienen de términos que ya eran utilizados en el lenguaje cotidiano antes de que tales conceptos fuesen construidos y definidos de manera precisa por los científicos en la forma en que los conocemos ahora. Este es el caso, por ejemplo, de conceptos como trabajo, calor, fuerza, polar, fase, reductor, animal, neutralización, velocidad, aceleración, etc.

Cuando un estudiante se encuentra en el aula o en los libros con un término que ya conoce por el lenguaje cotidiano, es lógico que de forma más o menos consciente intente transferir el significado que se le da vulgarmente a su significado científico. El problema es que no siempre ambos significados son compatibles ya que hay veces que el primero apoya ciertas ideas alternativas bien conocidas (Llorens et al. 1989).

En el lenguaje cotidiano, se suele identificar trabajo con esfuerzo y cansancio; este significado, apoya la idea alternativa de que se realiza trabajo sobre un cuerpo sólo cuando éste se desplaza bajo la acción de una fuerza capaz de vencer obstáculos que se oponen a ello. La idea de calor como una sustancia o como una energía, en definitiva como algo que puede entrar o salir y pasar de unos cuerpos a otros, significado contradictorio con el científico (una forma de transferencia de energía, entre dos sistemas que se encuentran a distinta temperatura y, por tanto, un proceso como el trabajo y no algo que se tenga). El uso que se hace de fuerza como sinónimo de velocidad (iba muy fuerte por iba muy rápido o la fuerza que se le comunicó al lanzarlo por la velocidad inicial con que salió). El significado vulgar que se atribuye a términos tales como "sustancia pura" como producto natural (sin añadidos ni contaminantes) lleva a identificar como tales al agua de manantial, el aire limpio de la montaña o la leche recién ordeñada (que químicamente son mezclas de muchas sustancias). Análogamente el significado que se suele dar a la palabra insecto en el lenguaje vulgar lleva a identificar como tal a seres como las arañas (que no lo son). Podemos referirnos también a la costumbre de dotar de propiedades perjudiciales para el organismo a cualquier ácido, considerar que todos los ácidos son fuertes, identificar neutro con inocuo o inerte, etc. (Jiménez Liso y De Manuel Torres, 2002).

Naturalmente, el hecho de que en el lenguaje cotidiano el significado de las palabras no sea tan preciso como en el lenguaje científico no debe interpretarse como algo negativo. En efecto, el que esto ocurra facilita la necesidad que tenemos las personas de comunicarnos. Proceso que si nos empeñásemos en hacer evitando a toda costa cometer ningún error conceptual, resultaría, cuando menos, bastante restrictivo y complicado. Parece, pues, necesario separar y saber distinguir el lenguaje normal del lenguaje científico; en otras palabras: lo grave no es que alguien diga que "el Sol sale por detrás de aquellas montañas" o "cierra la puerta que se escapa el calor", lo preocupante sería que realmente creyese que eso es así, después de haber estudiado los conocimientos científicos pertinentes y lo utilizase en un contexto científico.

Otra cuestión es el papel que juegan a veces determinadas creencias muy arraigadas en gran parte de la sociedad, como sería, por ejemplo, la de que resulta peligroso dormir en una habitación si dentro hay alguna planta. Esta, junto con la idea (correcta) de que las plantas verdes durante el día suministran oxígeno (fotosíntesis), lleva a pensar que las plantas tienen dos modos de respiración diferentes, según sea de noche o de día, y además que, al menos su respiración nocturna, debe ser muy intensa y en consecuencia consumen mucho oxígeno, ya que, como todo el mundo sabe, casi nadie consiente dormir al lado de un simple geranio y sin embargo, echar fuera al compañero (a) no es un suceso tan frecuente (al menos por esta causa).

Finalmente nos referiremos también a que en los medios de comunicación social como la televisión y la prensa escrita a los cuales, en principio, cabe exigirles un cierto rigor, se dan con cierta frecuencia noticias que contienen claros errores conceptuales.

Podemos referirnos, por ejemplo, a la información, ya recurrente, de que los tripulantes de un satélite en órbita alrededor de la Tierra se encuentran en estado de ingravidez o bien que en la estación espacial se van a realizar experimentos para comprobar como afecta la ausencia de gravedad a tal o cual cosa. Todo ello apoya sin duda la idea que tienen muchas personas de que en el espacio no hay gravedad. Así, por ejemplo, quienes leyeron el diario "El País" el 18 de octubre de 2003, se enteraron de que en la misión espacial "Cervantes" se iban a realizar en el espacio, a 390 km de la superficie terrestre, una serie de experimentos tales como:

"Análisis en condiciones de ingravidez, de los genes de la mosca de la fruta"

"Reacciones del organismo humano a las condiciones de microgravedad"

Tampoco faltan los errores conceptuales que tienen que ver con la fuerza como causa del movimiento.

A modo de ejemplo, en la figura 1 se reproduce uno de ellos (una viñeta del dibujante "El Roto" publicada en el diario "El País" de 9 del noviembre de 2004).

¿Qué idea alternativa puede apoyar dicha viñeta?

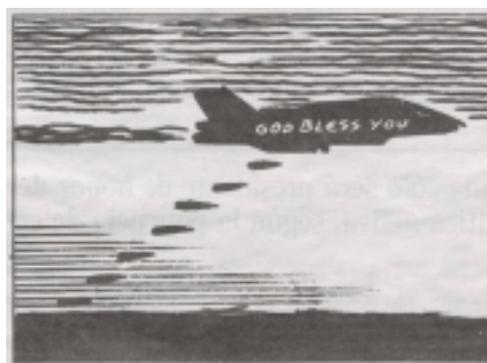


Figura 1

Si consideramos el rozamiento con el aire nulo (o despreciable, dada la forma aerodinámica de las bombas), cuando se suelta un proyectil desde un avión no puede pensarse que, al dejar de tener contacto con el aparato, el proyectil pierde automáticamente la velocidad horizontal que llevaba (respecto de un observador terrestre) para caer verticalmente y, en consecuencia, quedar retrasado respecto del avión. Si embargo para muchas personas, el estado natural de cuerpos como piedras o proyectiles es el reposo. Ello lleva a pensar que los proyectiles van quedando cada vez más retrasados, en lugar de todos en línea recta y debajo del avión (en un instante dado) y que este efecto se produciría aunque no existiese ninguna fricción con el aire.

Otro medio en el que se puede constatar la presencia de alguna idea alternativa importante es el cine. Como ejemplo, podemos citar la idea de que un rayo de luz se puede ver igual que vemos habitualmente cualquier objeto ordinario (espadas de luz láser de la saga de la guerra de las galaxias).

En la publicidad, para vender más, se asegura que un determinado producto tiene tales o cuales cualidades invocando a veces a la ciencia como fuente de autoridad y certeza. Sin embargo, en muchas ocasiones, los conceptos científicos que aparecen en la publicidad se utilizan de forma inadecuada, llegándose en algunos casos a cometer errores conceptuales muy claros como, por ejemplo, afirmar textualmente que el aire no pesa en un anuncio de un postre lácteo (Campanario, Moya y Otero, 2001).

Los errores conceptuales se pueden detectar también en la literatura. Así, por ejemplo, en la conocida novela de Alejandro Dumas "El conde de Montecristo" en el pasaje en que el protagonista se fuga de la prisión haciéndose pasar por el cadáver de su amigo, se dice textualmente:

¿Y no se volvió a oír hablar del preso? –preguntó.
 -Nunca, nunca jamás. Comprenderá usted que o lo uno o lo otro: o bien cayó de plano y, como caía desde unos cincuenta pies, se mataría en el acto o bien cayó de pie...
 -Ha dicho que le habían atado una bala de cañón a los pies. Caería por tanto de pie.

Podemos ver que la idea alternativa de que los cuerpos más pesados llegan antes al suelo lleva a pensar al personaje que el protagonista de la historia cayó de pie al mar desde lo alto de la torre (arrastrado por la pesada bala de cañón) y que, gracias a ello, no se mató del golpe.

Naturalmente, los errores conceptuales se pueden encontrar con mucha mayor frecuencia en otros medios más informales o de entretenimiento como son las historietas o cómics. Esto es lo que ocurre en el ejemplo de la figura 2 en el que se apoya la idea de que los seres humanos prehistóricos convivían con los dinosaurios



Figura 2

Podría argumentarse que el lenguaje cotidiano no es el lenguaje científico y que, consecuentemente, a los medios de comunicación no se les puede exigir el mismo rigor científico que a las revistas especializadas y menos todavía a aquellos medios que sirven fundamentalmente de entretenimiento como son los cómics. No obstante, aquí no se pretende reivindicar ningún cambio en los cómics recreativos sino tan solo

buscar explicaciones a una situación y, si fuera posible, aprovechar estos mismos medios como un instrumento más de aprendizaje.

Por otro lado, donde sí hay que pedir un cierto rigor científico, es en los libros de texto que se utilizan en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Sin embargo, también en algunos libros de texto se cometen graves errores conceptuales.

Libros de texto que contienen graves errores conceptuales

El problema puede ser considerado en dos vertientes. Por un lado las concepciones alternativas relacionadas con el hecho de que en el texto no se dé ninguna información con el propósito de cambiarlas o que ésta se dé deficientemente, de forma incompleta. Por otro, el que en algunos libros de texto se hallen presentes también, de forma explícita, graves errores conceptuales, lo cual es (afortunadamente) menos frecuente, pero no menos importante si tenemos en cuenta el elevado número de alumnos que pueden utilizar un libro de texto dado.

Así las siguientes frases textuales pertenecen a distintos libros de Enseñanza Secundaria:

"El peso del esquiador se reparte por los esquís y por eso se hunde poco; la presión que ejerce es menor que el peso"

"La velocidad es el espacio recorrido en la unidad de tiempo"

"Al ejercer una acción o fuerza sobre un cuerpo en él aparece una fuerza de reacción que es igual y contraria a ella"

"Se pasan los moles de CaO obtenidos a gramos utilizando la masa molecular del óxido"

"Todo cuerpo material tiende a moverse en la dirección de la fuerza aplicada"

"La mayoría de los animales acuáticos, como los peces, no respiran aire sino agua"

Conviene insistir que en todo momento estamos hablando de errores conceptuales graves y no de confusiones, explicaciones poco adecuadas, u otro tipo de fallos o carencias que en mayor o menor medida afectan a cualquier libro de texto. Los errores también se pueden detectar en algunas fotos y figuras tal y como se puede comprobar en el ejemplo de la figura 3.

En los tres pequeños recuadros de la parte inferior de la figura se dibujan dos fuerzas. La una se designa como fuerza de la gravedad mientras que la otra (hacia arriba) como fuerza de "impulso". En ellos se puede ver como se utiliza la idea de fuerza en un sentido que recuerda bastante a la idea escolástica del "ímpetus". En efecto, según esta idea, cuando la saltadora está subiendo lo hace porque la fuerza con que se impulsó supera a su propio peso. El peso no cambia pero la fuerza del impulso no desaparece al perder contacto con el suelo sino que, de alguna manera, queda grabada en el cuerpo y se va "gastando" poco a poco ya que se emplea precisamente en subirlo. Justo cuando llega arriba las dos fuerzas se han igualado, anulándose la fuerza de ascenso y después, cuando ya está cayendo, la única fuerza que queda es el peso. De esta forma se refuerza explícitamente la idea de fuerza como causa del movimiento: La saltadora sube mientras que la fuerza del impulso siga siendo mayor que el peso, de esta manera se explica un movimiento en contra del **supuesto** estado

"natural" de los cuerpos (en el suelo y en reposo). El problema es que se hace desde... un libro de texto de física y química para alumnos de secundaria.

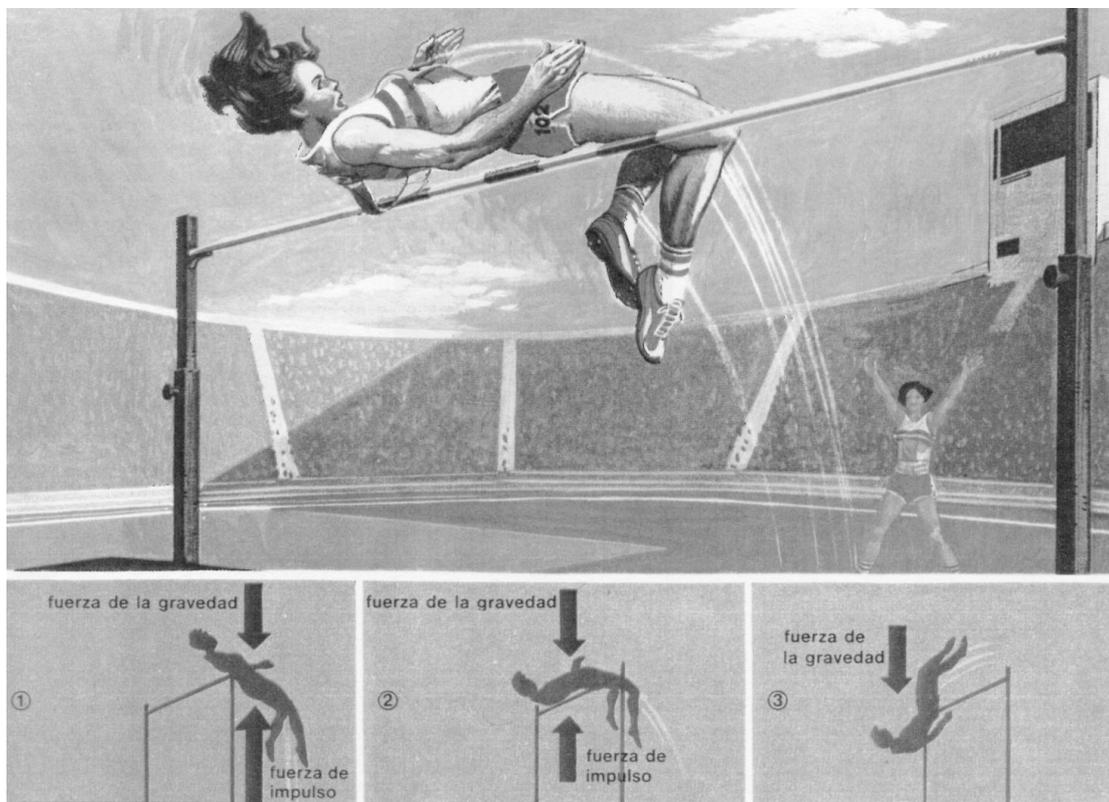


Figura 3

Naturalmente, los errores conceptuales que, a título de ejemplo, acabamos de exponer son fruto de una selección previa de entre muchos libros de texto de ciencias. Además, en muchos casos los errores no hay que atribuirlos a los autores sino a los dibujantes y a la propia editorial que ponen ilustraciones y comentarios a las mismas, sin consultar previamente con ellos. No obstante, lo que sí se halla más extendido es ignorar de hecho la existencia de ideas alternativas que afectan a distintos conceptos básicos y, consecuentemente, no se suelen incluir actividades que permitan su detección ni su cuestionamiento.

Finalmente hemos de referirnos también a la escasa utilización que se hace en los libros de texto de la historia de la ciencia para ilustrar el origen y la evolución de determinados conceptos (fuerza, calor, sustancia, elemento, ácido, etc.) lo que, sin duda, podría ayudar a cuestionar algunas ideas alternativas y a una mejor comprensión de los significados de tales conceptos en un contexto dado. (Furió y Guisasola, 2001).

Metodología utilizada en el proceso de enseñanza y aprendizaje

Sabemos que muchas concepciones alternativas se hallan extraordinariamente difundidas representando una manera de pensar espontánea que podemos encontrar en cada conversación y en muchas lecturas (Viennot, 1979). El problema es que esta situación se da también entre los mismos profesores que han de enseñar ciencias, ya

que parece evidente que aquellos profesores que realmente tengan determinadas concepciones alternativas difícilmente podrán ayudar a sus alumnos a superarlas (Arons, 1980).

Es pues necesario garantizar una sólida y adecuada formación científica inicial en la materia específica correspondiente a todos aquellos futuros profesores que vayan a impartirla (Gavela, 2004). Sin embargo este requisito, aunque imprescindible, en modo alguno puede ser suficiente, ya que es posible que muchos profesores tengan una sólida formación científica y a pesar de ello, tal y como ocurre en la realidad, no tengan en cuenta en sus clases la posible existencia de concepciones alternativas entre sus alumnos. ¿Cómo se explica esto?

En primer lugar hemos de señalar que, desgraciadamente, una "sólida" formación científica, no implica necesariamente que vaya acompañada de la formación didáctica correspondiente y a menudo simplemente se ignora la existencia de tales concepciones alternativas. Podemos encontrar así profesores que piensan que los alumnos no tienen ningún conocimiento previo de física y que por lo tanto el problema consiste en que los asimilen a partir de cero. En consecuencia, de lo que hay que preocuparse es de explicar claramente, de que los contenidos sean adecuados a la edad del alumno, etc., pero no de la existencia de posibles ideas previas que pueden actuar como obstáculos para el aprendizaje de ciertos conocimientos. Por otra parte, también hay profesores que conocen el hecho de que sus alumnos pueden tener ciertas ideas equivocadas respecto a determinados conceptos, pero que ignoran que algunas de ellas pueden ser muy resistentes al cambio y piensan que pueden ser fácilmente modificadas al explicar a los alumnos los conocimientos científicos actuales.

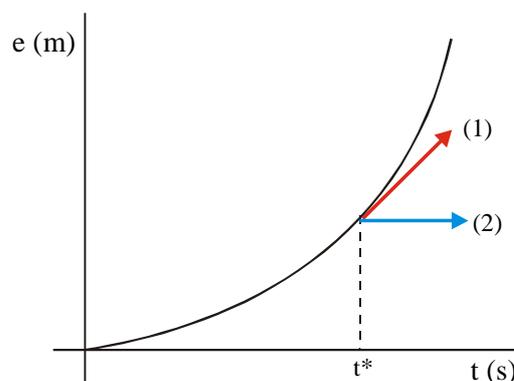
Otro aspecto importante a señalar es la necesidad de un mayor conocimiento de la historia de la Ciencia. Ya hemos comentado anteriormente la similitud existente entre algunas preconcepciones de los alumnos y ciertas ideas que se desarrollaron en determinados periodos de la historia de la Ciencia. Los ejemplos son numerosos y afectan a diferentes campos (movimiento, dinámica, calor, óptica, herencia biológica, etc.). Un conocimiento respecto a cómo se desarrollaron y cambiaron los conocimientos científicos, las controversias en que se vieron envueltos muchos de ellos, etc., puede ayudar a comprender muchas de las preconcepciones de los alumnos y lo que es más, puede arrojar alguna luz sobre cómo cambiarlas. En otras palabras: un profesor que conozca la vigencia, el alcance y las características fundamentales que tuvieron por ejemplo la física aristotélico-escolástica, la teoría del calórico y la teoría del flogisto, las ideas de Lamarck, el vitalismo, etc., estará mucho más receptivo cuando en su clase surjan ideas que relacionen la fuerza con la velocidad, el calor con una sustancia, dificultades respecto a la comprensión de la constancia de la masa en determinadas transformaciones, etc., y tendrá mejores elementos de juicio para comprender la persistencia de tales ideas y también para plantearse su modificación.

En ocasiones nos encontramos con que un gran número de alumnos tienen ideas que se detectan a partir de un cierto nivel educativo, que guardan una cierta relación, más o menos directa, con algún concepto científico y que llevan a cometer determinados tipos de error con bastante seguridad, pero que sin embargo se trata de ideas que no

existen como tales antes de la etapa escolar, ni tampoco se dan en personas sin ninguna cultura científica. En este sentido, decimos que son concepciones alternativas pero no preconcepciones. Mediante las siguientes cuestiones es posible detectar algunas ideas alternativas de estas características:

1. La gráfica adjunta representa la posición de un móvil en función del tiempo. Su velocidad en un instante dado t^* de su movimiento se podrá representar por:

- a) El vector (1)
- b) El vector (2)
- c) Otra respuesta (especificar)
- d) No lo sé



2. Si se lanza un cuerpo verticalmente hacia arriba desde el suelo, el valor de la aceleración de la gravedad "g" para el movimiento de subida, en las ecuaciones cinemáticas $e = f(t)$ y $v = f(t)$, deberá ponerse como:

- a) Positivo. b) Negativo. c) Otra respuesta (especificar), d) No lo sé

3. Según el modelo atómico de Bohr el ión H^+ consiste básicamente en:

- a) El núcleo del átomo de hidrógeno únicamente. b) El núcleo del átomo de hidrógeno y una sola órbita vacía. c) El núcleo del átomo de hidrógeno y varias órbitas vacías. d) No lo sé

4. Contestar verdadero, falso o no lo sé, a la izquierda de cada una de las siguientes proposiciones (en todos los casos se manejan disoluciones acuosas):

- a) Siempre que midamos el pH de una disolución y éste sea igual a 7, decimos que se trata de una disolución neutra.
- b) El pH de una disolución en algunos casos puede tomar un valor negativo
- c) A igualdad de restantes condiciones el ácido acético, si está muy concentrado, puede llegar a ser más fuerte que el ácido clorhídrico muy diluido.
- d) Un ácido puede reaccionar totalmente con una base, sin que sobre nada de ninguno de los dos, y resultar que la disolución final no es neutra.

En las cuestiones anteriores respuestas científicamente aceptables son: 1c (la gráfica no representa la trayectoria seguida por el móvil), 2c (si tomamos como origen de espacios el suelo y sentido positivo hacia arriba el valor de g será negativo tanto al subir como al bajar; por el contrario, si escogemos como sentido negativo hacia arriba, el valor de g será positivo, tanto al subir como al bajar), 3a (si no hay electrón no tiene sentido hablar de órbita), 4a falso (sólo si la temperatura es 25°C), 4b verdadero (basta con que la concentración de H_3O^+ sea mayor de 1 M), 4c falso (aunque el ácido clorhídrico esté muy diluido éste será más fuerte que el acético), 4d verdadero (a condición de que se formen iones que puedan experimentar reacciones de transferencia de protones con el agua).

Cuando se pasa el cuestionario anterior a alumnos o incluso a profesores de ciencias en formación, el número de respuestas erróneas suele ser muy elevado ya que hay muchos que confunden las gráficas e-t y v-t con la trayectoria realmente seguida por el móvil, otros están convencidos de que siempre que un objeto sube libremente hacia arriba sometido tan solo a la acción de la gravedad, g toma un valor negativo (y al contrario cuando baja), también son numerosos quienes piensan que existen órbitas vacías (¿de qué están hechas?), etc. Se trata de ideas distintas a las ideas científicas que tratamos de enseñar, ampliamente extendidas y asumidas como correctas con bastante convencimiento por quienes las detentan, lo que nos lleva a calificarlas como verdaderas ideas alternativas.

Sin embargo, si pasamos estas mismas cuestiones a alumnos de primeros cursos de ciencias o bien a personas que no tienen apenas una cultura científica, la respuesta más abundante será "no lo sé", no habrá idea alternativa simplemente porque ... no habrá ninguna idea al respecto. Ello nos lleva a afirmar que estas ideas alternativas no son preconcepciones, no son ideas intuitivas generadas en un medio extraescolar. Por el contrario, es en el propio medio escolar o, más precisamente, en la metodología utilizada en la enseñanza de las ciencias y en su aprendizaje, donde hay que buscar el origen de tales ideas. Esta conclusión tiene una gran importancia ya que, como veremos en un segundo trabajo, orienta la búsqueda sobre el origen y persistencia de las ideas alternativas hacia la exploración de posibles fallos y carencias de tipo metodológico.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El problema de los errores conceptuales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, sigue siendo en la actualidad una potente línea de investigación didáctica, como lo demuestra la gran cantidad de estudios que se siguen realizando sobre estos temas.

En este trabajo hemos analizado ejemplos concretos de ideas alternativas viendo cómo afectan a conceptos, aspectos y principios fundamentales como son fuerza, gravitación, fotosíntesis, intensidad de corriente eléctrica, heredabilidad de caracteres, principio de acción y reacción, etc., mostrando algunos instrumentos que se pueden utilizar para la detección de tales ideas.

Hemos visto también que tanto el origen de las ideas alternativas como la gran persistencia de algunas de ellas, se pueden explicar, en parte, si consideramos el papel determinante que en ello tienen las experiencias físicas cotidianas, el lenguaje de la calle y los distintos medios de comunicación, la existencia de errores conceptuales en algunos libros de texto y otros aspectos de tipo metodológico.

Sin embargo, como ya hemos insistido, el principal interés de las investigaciones sobre las concepciones alternativas no reside en el conocimiento detallado de cuáles son dichas concepciones en cada uno de los campos o dominios científicos, aun cuando dicho conocimiento siga siendo hoy imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, a la elaboración fundamentada de un nuevo

modelo para la introducción de los conceptos científicos teóricos y el aprendizaje de las ciencias en general, tal y como se intentará mostrar en un próximo trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO Díaz, J.A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), pp. 241-246
- ARONS B.A. (1980). *Thinking reasoning and understanding in introductory physics courses*. Physics Teaching GIREP. U. Ganiel Editor. Balabam: Jerusalem.
- ALEMÁN BERENGUER R. y PÉREZ SELLES, J.F. (2001). Una nueva propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 19(2), pp. 335-343.
- AZCÁRATE, G.C. (1990). *La velocidad: introducción al concepto de derivada*. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- BENARROCH, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), pp. 123-124.
- CAMPANARIO, J.M. (1995). *Concepciones erróneas en el área de la mecánica de varios grupos de estudiantes universitarios nicaragüenses*. Ponencia. I Jornadas Hispano-nicaragüenses de Física. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. UNAN-León.
- CAMPANARIO, J.M., MOYA, A. y OTERO, J.C. (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), pp. 45-46.
- CAÑAL, P. (1990). *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- CARRASCOSA, J. (1983). Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), pp. 63-65
- CARRASCOSA, J. (1985). Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), pp. 230-234.
- CARRASCOSA, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral. Valencia: Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia.
- CARRASCOSA, J., FERNANDEZ, I., GIL, D. y OROZCO, A. (1991). Diferencias en la evolución de las preconcepciones científicas: un instrumento para la comprensión de su origen. *O Ensino de Física*, 13, pp. 104-134.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. Dinámica: Las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), pp. 314-328.
- CERVANTES, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, pp. 66-70.

- DE LA ROSA, C et al. (1984). Common sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6(4), pp. 387-397.
- FERNANDEZ, J.M. (1987). Estudio del grado de persistencia de ciertos preconceptos sobre la estática de fluidos en alumnos de 2º curso de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), pp. 27-32.
- FURIÓ, C. (1986). Metodología utilizada en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 73-77.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 319-334.
- FURIÓ, C., AZCONA, R y GUIASOLA, J. 2002. Revisión de investigaciones sobre la enseñanza y aprendizaje de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), pp. 229-242.
- GARCÍA-HOURCADE, J.L. y RODRIGUEZ DE AVILA, C. (1985). Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), pp. 188-194.
- GAVELA, B. (2004). El gran reto de la ciencia española. *El País Semanal*, nº 1433. p. 38.
- GENÉ, A. (1986). *Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada*. Tesis Doctoral. Barcelona: Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.
- GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- GRANDA, A. 1988. Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 239-243.
- GRUPO ÁLCALI (1990). Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), pp. 111-118.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M y CEBERIO, M. (2003). Concepciones alternativas sobre campo magnético estacionario. Selección de cuestiones para su detección. *Enseñanza de las ciencias*, 21(2), pp. 281-293.
- HIERREZUELO J et al. (1989). *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Laia-MEC: Madrid.
- JIMENEZ, M. P. (1987). Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), pp. 165-167.
- JIMENEZ, M.P. (1989). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- JIMÉNEZ LISO, M. R. y DE MANUEL TORRES, E. (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 451-464.
- KAMINSKI, W. (1991). *Optique elementaire en classe de quatrieme: raisons et impacte sur les maitres d'une maquette d'enseignement*. Tesis doctoral. Universidad de Paris 7.
- LLORENS, J.A. (1987). *Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del*

- lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato*. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia. Departamento: Química-Física.
- LLORENS, J. A., DE JAIME, M^a C. y LLOPIS, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp. 111-119.
- MACEDO, B y SOUSSAN, G. (1985). Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), pp. 83-91.
- MANRIQUE, M^a J., VARELA, P. y FAVIERES, A. (1989). Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), pp. 292-295.
- McDERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*. Julio, pp. 24-34.
- MOREIRA, M.A. y NOVAK, D.P. (1988). Investigación en enseñanza de las ciencias en la universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), pp. 3-18.
- PÉREZ, H. y SOLBES, J. (2003). Algunos problemas de la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), pp. 135-146.
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (1998). *Bibliography of students' alternative frameworks in science education*. Kiel. Germany: IPN.
- PONTES, A. y DE PRO A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), pp. 103-121.
- QUÍLEZ, P. 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(1), pp. 72-79.
- SANMARTI, N. (1990). *Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y de compuesto*. Tesis Doctoral. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- SEBASTIA, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), pp. 161-169.
- SOLANO, I., JIMÉNEZ GÓMEZ, E. y MARÍN, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de "lo que el alumno sabe" sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*. 18(2), pp. 171-178
- VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Paris: Herman.

ANEXO (CUESTIONARIO)

A continuación se proponen una serie de sencillas cuestiones relacionadas con algunos aspectos básicos de distintos campos de la ciencia. Contestad cada una de ellas haciendo en cada caso los comentarios que se consideren oportunos.

Marca con una cruz la proposición que te parezca más correcta en cada cuestión:

1. El estudio de la respiración en los seres vivos nos muestra que:

- a) Las plantas verdes y los animales, siempre respiran consumiendo oxígeno y desprendiendo anhídrido carbónico **lo mismo de día que de noche.**
- b) Las plantas verdes **sólo respiran por la noche.**
- c) Las plantas verdes **durante el día** respiran al revés que los animales ya que para ello toman anhídrido carbónico y desprenden oxígeno.

2. Supongamos que toda la atmósfera que rodea a la Tierra desapareciese totalmente, quedando el planeta rodeado por el vacío. En estas condiciones puede afirmarse que el peso de los cuerpos:

- a) Disminuiría, b) Se haría cero, c) Aumentaría, d) No cambiaría

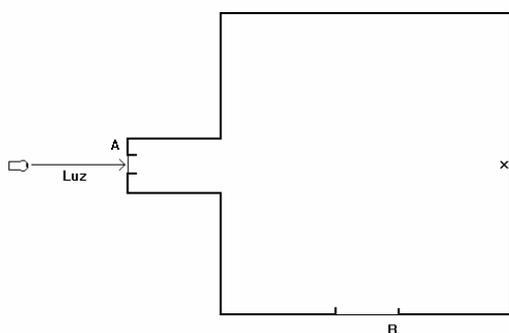
3. Se lanza una piedra verticalmente hacia arriba alcanzando una altura de 6 m sobre el suelo. Considerando nulo el rozamiento con el aire ¿qué altura alcanzará otra piedra lanzada con la misma velocidad pero cuya masa es la mitad que la de la primera?

- a) 3 m b) 6 m c) 12 m

4. Experimentalmente se comprueba que al calentar mucho el hierro se pone al rojo vivo y finalmente se funde. Este fenómeno se produce porque:

- a) Los átomos de hierro se alejan entre sí debilitándose los enlaces que los unen, rompiéndose muchos de ellos, etc.
- b) Los átomos de hierro inicialmente duros, se van haciendo cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura.

5. Se ha construido una caja de paredes opacas la cual sólo tiene dos ventanas acristaladas A y B, haciéndose el vacío dentro de la misma. Si la ponemos entonces en un cuarto oscuro y se envía un fino haz de luz horizontal, como se muestra en la figura, un observador que mirase por la ventana B, podría ver:

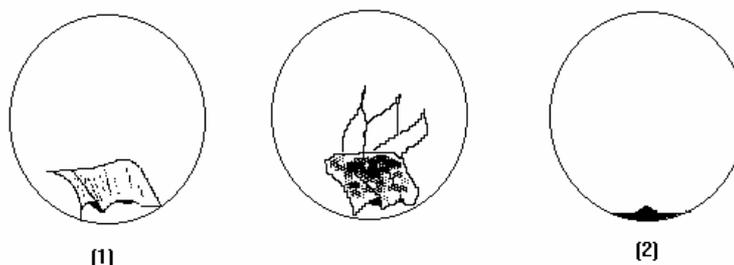


a) Un rayo de luz horizontal y el punto x iluminado.

b) Sólo un rayo de luz horizontal.

c) Sólo el punto x iluminado.

6. Dentro de una esfera cerrada y transparente hay un trozo de papel. Mediante una lupa hacemos que arda dicho papel hasta quemarse totalmente. Si pesamos todo el conjunto antes (1) y después (2) de la combustión, resultará que:



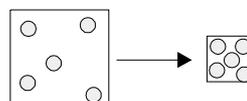
- a) El peso de (2) será igual que el de (1)
- b) El peso de (2) será menor que el de (1)
- c) El peso de (2) será mayor que el de (1)

7. Una de las propiedades más conocidas del aire es lo mucho que se puede comprimir. Podemos comprobar fácilmente dicha propiedad utilizando una jeringuilla con aire a la que tapamos la salida mientras presionamos por el otro extremo. Esto se interpreta correctamente diciendo que:

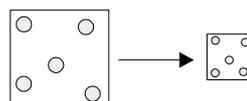
a) El aire es como una esponja (todo continuo) que al apretar se comprime.



b) Entre las partículas existen espacios vacíos o huecos, que al presionar se hacen menores.



c) Al presionar, las propias partículas se comprimen, reduciéndose así su tamaño.



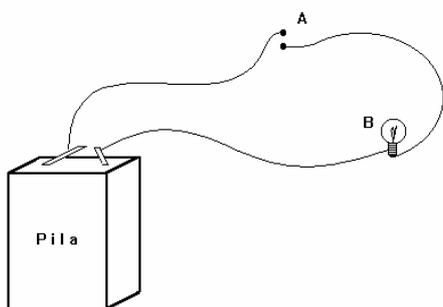
8. Un bloque de hierro ha sido lanzado hacia la derecha por una superficie lisa y plana contra un muelle elástico tal y como se representa en los dibujos, considerándose nulo el rozamiento.



Al chocar, el bloque no se para inmediatamente, sino que sigue moviéndose hacia la derecha durante un tiempo y mientras esto ocurra empujará al muelle:

- a) Cada vez con más fuerza
- b) Cada vez con menos fuerza
- c) Siempre con la misma fuerza.

9. En el circuito de la figura adjunta se observa que en cuanto conectamos el interruptor A, se enciende la bombilla B. Esto ocurre así de rápido porque:



a) Las cargas eléctricas que constituyen la corriente (electrones) se desplazan por el cable a la velocidad de la luz.

b) Las cargas se mueven por el cable a una velocidad enorme pero sin llegar a la de la luz.

c) Aunque los electrones avanzan muy despacio, la velocidad con que se propaga la energía eléctrica es prácticamente igual a la de la luz.

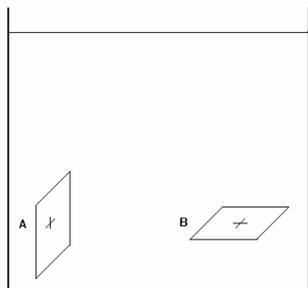
10. Como sabes, los ratones se reproducen muy rápidamente. Si se realizase un experimento consistente en cortar la cola a unos ratones y a todos sus descendientes poco después de nacer, para que jamás pudieran utilizar este órgano, al cabo de muchas generaciones se observaría que a causa de este hecho:

a) De pronto comenzarían a nacer ratones sin cola.

b) La cola de los ratones sería más corta que la de sus antepasados.

c) El tamaño de la cola no habría disminuido respecto a sus antepasados.

11. Dos láminas planas se encuentran casi en el fondo de un estanque lleno de agua según se indica en el esquema adjunto. Puede afirmarse entonces que la presión sobre el centro de la lámina B será:



a) Menor que sobre el centro de la lámina A

b) Igual que sobre el centro de la lámina A

c) Mayor que sobre el centro de la lámina A

12. Quizás habrás tenido ocasión de observar en la carne de algunos animales muertos o en frutas podridas, numerosos y pequeños "gusanos". Esto se debe a que la materia de los seres vivos, a diferencia de los minerales, tiene la propiedad (cuando se pudre) de originar diminutas larvas que crecen alimentándose de los jugos o líquidos que suelta.

a) Cierto

b) Falso

c) No lo se

13. Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante sobre él en ese mismo instante también lo será.

a) Cierto

b) Falso

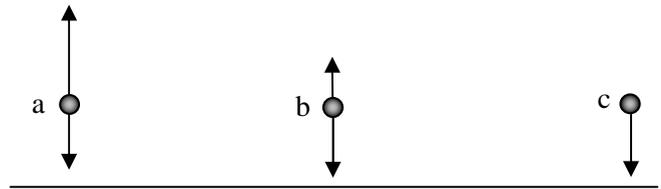
c) No lo se

14. De entre los siguientes elementos subrayad únicamente aquellos que sean metales:

cloro, plata, cobre, mercurio, calcio, sodio, oro, potasio, hierro.

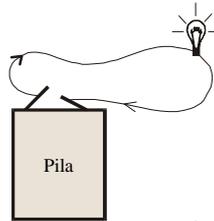
15. Se lanza un objeto verticalmente desde el suelo hacia arriba.

Considerando nulo el rozamiento con el aire, señalad cuál de los esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre el objeto que sube, poco antes de que éste alcance su máxima altura.

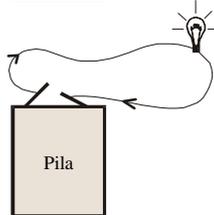


16. Señalad cuál de las siguientes situaciones describe mejor qué le ocurre a la corriente eléctrica:

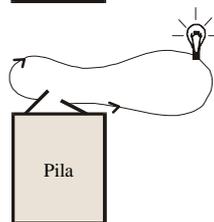
a) Sale la corriente de un polo, pasa por la bombilla, y regresa menos corriente a la pila, entrando por el otro polo.



b) La misma corriente que sale de la pila por un polo y pasa por la bombilla, le entra a la pila por el otro polo.



c) La corriente sale de ambos polos por la pila y se consume en la bombilla.



17. En Química se utilizan a menudo expresiones como elemento, mezcla y compuesto. Podemos afirmar, por ejemplo, que según el lenguaje químico (señalar V de verdadero o F de falso a la izquierda de cada proposición):

- a) El alcohol puro es un elemento.
- b) El agua es una mezcla de hidrógeno y oxígeno.
- c) El aire es un compuesto.

18. Como sabes, los volcanes cuando entran en erupción arrojan al exterior grandes cantidades de gases y de lava ardiente que provienen del interior de la Tierra.

Señala cuál de los dos esquemas siguientes representa en tu opinión más correctamente el interior de un volcán:

