

Ideas alternativas en conceptos científicos¹

Alternatives in scientific concepts ideas

Idéias alternativas sobre conceitos científicos

Fecha de recepción: junio de 2013
Fecha de aceptación: agosto de 2013

Jaime Carrascosa Alís²

Resumen

Este artículo presenta una investigación sobre la enseñanza de los conocimientos teóricos, lo cual no es un problema que tradicionalmente haya preocupado mucho al profesorado de ciencias. Quizás porque los alumnos parecen tener bastantes menos dificultades en responder a las preguntas teóricas, que en otros aspectos también fundamentales para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio.

Palabras clave: concepciones, ideas alternativas, enseñanza de las ciencias.

Abstract

This paper presents a reflection on the teaching of theoretical knowledge, not a problem that has traditionally cared much science teachers. Perhaps because students seem to have far fewer difficulties in answering theoretical questions, which in other respects also essential for teaching and learning science as solving problems or performing laboratory practices.

Keywords: conceptions, alternative ideas, science education.

Resumo

Este artigo apresenta uma pesquisa sobre o ensino de conhecimentos teóricos, que não é um problema que tem tradicionalmente importava muito o que fazer professor de ciência. Talvez porque os alunos parecem ter muito menos dificuldades em responder às questões teóricas, que em outros aspectos também essenciais para o ensino e aprendizagem das ciências, como a resolução de problemas ou a realização de práticas de laboratório.

Palavras-chave: idéias, idéias alternativas, educação científica.

Introducción

Esta comprensión de los conocimientos teóricos es, en muchos casos, más aparente que real. En efecto, ¿puede hablarse de verdadera comprensión cuando los alumnos no son capaces de aplicar dichos conocimientos para resolver sencillas preguntas en

contextos ligeramente distintos a los tratados en clase? Los profesores con experiencia saben que, en ocasiones, los alumnos, ante determinadas cuestiones, dan respuestas singulares, que llaman la atención porque no vienen causadas por una falta de información o errores de cálculo, sino más bien por una profunda mala interpretación de algún concepto clave.

¹ Artículo de investigación.

² Universidad de Valencia-España. Contacto: jaime.carrascosa@uv.es

Fue precisamente el estudio de este tipo de respuestas o “errores conceptuales” lo que dio lugar a una de las líneas de investigación más importantes y fructíferas de la didáctica de las ciencias: el estudio de las denominadas “concepciones alternativas”. La importancia de dicha línea de investigación no radica únicamente en sí misma, sino también en su contribución a cuestionar los principales modelos educativos existentes y a la elaboración de nuevas estrategias metodológicas para conseguir un aprendizaje realmente significativo de los conceptos científicos. Además, una gran parte de las investigaciones en este campo han sido realizadas por los propios profesores especialistas en las diversas materias de ciencias, siendo esta una fuente importante de los trabajos desarrollados en contacto directo con las aulas, llevando a cabo un verdadero proceso de investigación-acción.

En este artículo, se va a examinar, primero, la importancia y gravedad del problema de las concepciones alternativas de los alumnos, para, a continuación, plantear cuáles pueden ser las causas más importantes de su origen y persistencia. Un análisis cuidadoso de dichas causas llevará a cuestionar la eficacia de la enseñanza tradicional para superar el problema y la propuesta justificada de nuevas estrategias para avanzar en su solución. Finalmente, se termina considerando a qué otras concepciones, diferentes a las simplemente relacionadas con conceptos científicos, se podría extender la investigación.

Errores conceptuales e ideas alternativas

Como ya se ha señalado, durante mucho tiempo la enseñanza de conceptos teóricos no fue prioridad para el profesorado de ciencias, en relación con otros aspectos como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio. Esto mismo sucedía también 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 numéricos —con un 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

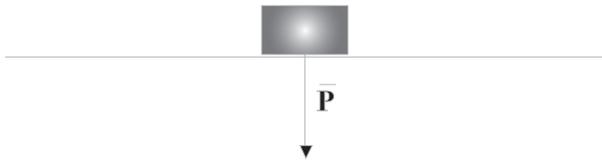
los conceptos, como mostraba el hecho de que la mayoría de los estudiantes, en la parte teórica de los exámenes, era donde mejores puntuaciones obtenían. No obstante, algunos pensaban que la aparente facilidad para responder a las cuestiones teóricas era más el fruto de una simple repetición memorística que de un aprendizaje realmente significativo. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones, diferentes a las utilizadas habitualmente, lo que permitió sacar a la luz una grave y general incompreensión que afectaba incluso los conceptos científicos más fundamentales y reiteradamente enseñados. Una sencilla pregunta cualitativa sobre la caída de graves como: —una piedra cae desde cierta altura en un segundo. ¿Cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa que la primera?, mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos de ciencias, tanto a nivel de enseñanza media o secundaria y en la universidad consideraba que una masa doble se traducía en mitad de tiempo de caída y respondían que tardaría medio segundo. 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 doctoral de Laurence Viennot en el año 1979, atrajo la atención sobre el problema del aprendizaje conceptual, que cuestionaba la efectividad de la enseñanza precisamente allí donde los resultados parecían más positivos —los conocimientos teóricos—. Los alumnos, no solo 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 bien el significado de los conceptos científicos más básicos. Particularmente relevante era el hecho de que los errores que cometían no parecían deberse a simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se basaban en ideas seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles educativos, e incluso a un porcentaje significativo de profesores de ciencias en formación o en activo.

No es pues de extrañar que el estudio de los errores conceptuales y de las ideas alternativas que llevan a cometerlos se convirtiera rápidamente, a partir

de los años ochenta, 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 más, conviene que, antes de proseguir, se analicen un par de sencillas cuestiones relacionadas con determinados conceptos básicos, en las que se suelen cometer algunos errores conceptuales:



1. La figura adjunta representa un bloque que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal y la fuerza peso que actúa sobre el mismo.
2. Un astronauta se halla en órbita alrededor de la Tierra con movimiento circular y uniforme. Explicado por qué “flota” dentro de la estación espacial.

En el primer punto es bastante habitual encontrar como respuesta un vector centrado en el cuerpo y dirigido verticalmente hacia arriba oponiéndose a la fuerza peso. Naturalmente, esa respuesta es incoherente con el tercer principio de la dinámica ya que, en primer lugar, la fuerza peso se debe a la interacción gravitatoria Tierra-bloque y, por tanto, su 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 jamás es el peso —aunque su módulo, en determinados casos, pueda coincidir con el módulo de dicha fuerza peso—.

En cuanto a la segunda de las cuestiones planteadas, se suelen cometer diversos errores conceptuales, 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 y que esta es, en todo momento, perpendicular a la trayectoria circular que describen en torno a la Tierra. Si esa fuerza dejase de existir, la estación seguiría moviéndose en línea recta y con la velocidad que llevase justo en ese instante, 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 en la forma como lo hace, respecto de un observador terrestre.

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 tradicional, la fuerza peso con que la Tierra nos atrae es equilibrada por la fuerza ejercida sobre nosotros por el resorte de la balanza. Notamos esa fuerza, lo mismo que la fuerza que nos imprime el suelo cuando permanecemos de pie 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 lo mismo—; 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 produce la superficie —y nosotros a ella— es menor que nuestro peso y, consecuentemente, tenemos la sensación de pesar menos —por ejemplo cuando un ascensor inicia la bajada o al descender bruscamente en la montaña rusa de un parque de atracciones—. ¿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 “ingravidez” 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, las personas que hacen 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 “ingravidez” 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 existe la 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 —mientras está cayendo—.

Mediante las dos cuestiones anteriores se revisó el problema de los errores que suelen cometerse ocasionalmente al plantear la utilización de algunos conceptos básicos de ciencias en determinados contextos. A este tipo de respuestas, contradictorias con los conocimientos científicos vigentes, que suelen darse de manera rápida y segura, ampliamente extendidas, y que se repiten insistentemente a lo largo de los distintos niveles educativos —sobreviviendo a la enseñanza de conocimientos teóricos que las contradicen—, se les denomina errores conceptuales, porque responden a la existencia, en la mente del sujeto que los comete, de determinadas concepciones o ideas diferentes —alternativas— respecto de los conceptos científicos que se quieren enseñar.

Podemos decir, entonces, que los errores conceptuales se cometen mientras que las ideas alternativas que los originan se tienen. En el siguiente ejemplo, se puede ver claramente la diferencia entre error conceptual e idea alternativa:

Un observador en reposo desde el suelo ve que, desde un globo que está ascendiendo verticalmente con una rapidez de 10 m/s, se suelta un lastre en el momento que se encuentra a 40 m del suelo. Calculad el valor de la rapidez con que, según dicho observador, chocará el lastre contra el suelo. Datos: Considerad el rozamiento despreciable y que el módulo de la aceleración de la gravedad vale 10 m/s².

Es fácil comprobar que el resultado correcto de este ejercicio, es decir, coherente con la mecánica clásica y con las condiciones que se consideran imperantes en su enunciado, es de 30 m/s —en valor absoluto—. Naturalmente, es posible obtener muchos otros resultados diferentes que sean considerados erróneos y ello puede deberse a múltiples causas como no conocer bien las ecuaciones del

movimiento implicado, equivocaciones cometidas al calcular o fallos en los signos. No obstante, entre las respuestas erróneas posibles, hay una que tiene un carácter singular. Nos referimos al resultado $v = 28,3$ m/s. Dicha respuesta —a diferencia de todas las restantes— constituye un claro error conceptual, un error consecuente con la existencia, en la mente del sujeto que lo comete, de una idea alternativa muy concreta: la idea de fuerza como causa del movimiento. Dicha idea lleva a pensar que, dado que en el instante que el lastre pierde contacto con el globo, deja de estar empujado hacia arriba y queda sometido únicamente a la acción de la fuerza peso —hacia abajo—, debe comenzar a caer inmediatamente con velocidad inicial nula respecto del observador situado en el suelo. Al sustituir la velocidad inicial por 0 en las ecuaciones utilizadas para resolver el problema, es cuando se obtiene el resultado de 28,3 m/s.

La confusión entre error conceptual e idea alternativa se dio, sobre todo, en los comienzos de esta línea de investigación didáctica, cuando ambos términos se utilizaban como sinónimos. Por otra parte, la gran diversidad terminológica que se utilizó en la década de los años ochenta para denominar a las ideas alternativas —preconcepciones, ideas previas, ciencia de los niños, teorías implícitas, ideas ingenuas, entre otras— ha sido ya superada imponiéndose el término de ideas o concepciones alternativas, independientemente de cómo se hayan generado.

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

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 en 1938 señalaba 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 años setenta cuando, coincidiendo con la tesis doctoral de Viennot 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 este se convirtiese en una de las primeras líneas de investigación didáctica. En la actualidad, prácticamente todos los campos de las ciencias han sido analizados. Toda esta investigación no se ha limitado, claro está, a describir los errores más frecuentes, sino que ha sido acompañada 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, entre otras cosas, han puesto a punto distintas técnicas para la detección de ideas alternativas y han mostrado la extensión y gravedad del problema.

¿Cómo detectar la existencia 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.

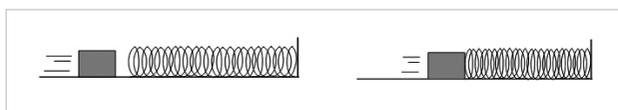
En primer lugar, podemos mencionar a las entrevistas clínicas, en las que se pide al alumno su opinión respecto de un problema determinado, se le hacen preguntas más o menos abiertas sobre algún concepto, se le muestran dibujos que representan situaciones o fenómenos para que los comente, entre otros. 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. A menudo las entrevistas son grabadas para después analizarlas. También sirven para medir, aunque sea cualitativamente, el grado de satisfacción con una concepción dada —si se la ve útil o no, si se tienen dudas respecto de su validez, entre otras—. 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 y demás— aunque, evidentemente, presentan los inconvenientes de la gran cantidad de tiempo que precisan y la menor generabilidad de sus resultados.

Otro instrumento son los cuestionarios. En ellos, las cuestiones se diseñan de tal forma que, quienes sostienen una cierta concepción alternativa, dan respuestas coherentes con dicha concepción. Las cuestiones pueden ser de distinto tipo, como: una sola respuesta, opción múltiple —pidiendo, por ejemplo, que se señale la que se considera correcta o bien que se califique cada una como verdadera o falsa—, expresar de alguna forma —por ejemplo mediante una nota numérica— el grado de acuerdo o desacuerdo, entre otras. Mediante este sistema, el control de variables no es tan grande como con el anterior; sin embargo los cuestionarios, al poder ser utilizados a la vez con grandes muestras, permiten obtener unos resultados más generales. Normalmente, el diseño de este tipo de cuestiones se realiza cuando ya se conoce la existencia de determinadas concepciones alternativas y se desea disponer de algún dato cuantitativo como, por ejemplo, su grado de incidencia en un colectivo y momento dado. A modo de ejemplo, se proponen a continuación algunas de dichas cuestiones —en las que simplemente se trata de marcar la propuesta que se piense es más correcta—:

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 dióxido de carbono lo mismo de día que de noche.
 - b. Las plantas verdes solo respiran por la noche.

- c. Las plantas verdes durante el día respiran al revés que los animales ya que para ello toman dióxido de carbono y desprenden oxígeno.
2. 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.
3. 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, y demás.
 - b. Los átomos de hierro inicialmente duros se van haciendo cada vez más blandos conforme va aumentando la temperatura.
 4. 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.

En las cuestiones anteriores, las respuestas científicamente aceptables son 1(a), 2(a), 3(a) y 4(c). Sin embargo, la existencia de determinadas ideas alternativas, puede llevar a elegir otras opciones más acordes con dichas ideas. Así, en el caso de las plantas verdes, su respiración es entendida frecuentemente como un proceso de intercambio gaseoso inverso al que efectúan los animales, durante el cual la planta tomaría dióxido de carbono del aire y expulsaría oxígeno. Para muchos alumnos esta respiración inversa se realiza durante el día, mientras que por la noche lo harían como los animales —en cuanto al intercambio de gases—. Subyace la idea de considerar todo intercambio gaseoso como respiración, con lo que la fotosíntesis es entendida como una forma de respiración que se realiza durante el día. En la segunda cuestión, la idea alternativa de fuerza como causa del movimiento hace muy difícil admitir que algo que va cada vez más lento pueda, sin embargo, hacer cada vez más fuerza como, de hecho, ocurre de acuerdo con la ley de Hooke y el tercer principio de la dinámica. En cuanto a la tercera cuestión, la idea alternativa de atribuir a los átomos propiedades “macroscópicas” para explicar toda una serie de fenómenos como la disolución, dilatación o los cambios de estado, lleva a pensar que, si una sustancia se disuelve, se dilata o se funde, es porque lo hacen las propias partículas que la forman, lo que, en este caso, lleva a señalar como correcta la opción. Finalmente, en la última cuestión, se puede poner de manifiesto la idea de que algunos caracteres, como adquirir un cuerpo atlético haciendo ejercicio físico continuado, pueden transmitirse a los descendientes.

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, cuestiones como las anteriores, constituyen un poderoso instrumento para la “detección funcional” de concepciones alternativas, es decir, son actividades que pueden utilizarse no solo como simple diagnóstico, sino, y más importante aún, para aprender y evaluar lo aprendido, por lo que pueden desempeñar 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, existe toda una serie de normas básicas por seguir para elaborar este tipo de cuestiones, especialmente cuando se trata de realizar algún trabajo de investigación. Entre ellas podemos destacar la necesidad de consultar previamente con otros colegas especialistas en el tema, realizar algún pequeño ensayo piloto para ver si funcionan bien, incluir en todas ellas la opción “no lo sé” con el fin de evitar en lo posible las respuestas aleatorias, entre otras. 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 sobre la validez de las mismas, o darles directamente las respuestas erróneas y pedirles que expliquen por qué lo son.

A pesar de que su propósito principal no es el estudio de las ideas alternativas, los mapas conceptuales constituyen otro instrumento con el que estas, 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, es preciso tener en cuenta que 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. Por tanto, en un modelo de enseñanza basado fundamentalmente en la

transmisión verbal de conocimientos por parte del profesor, ante alumnos que se limitan a escucharlo y tomar apuntes, 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, problemas tipo simples ejercicios de aplicación y, en general, sin actividades en las que los estudiantes tengan ocasión de proponer ninguna hipótesis.

¿Cómo se originan y persisten 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 ahí. Como ya señalaban acertadamente Fisher y Lipson a finales de los años ochenta:

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.

Desde entonces, este interés en profundizar y avanzar más allá de los estudios meramente descriptivos, es algo que ha continuado reclamándose desde las principales revistas de didáctica de las ciencias de ámbito internacional. A continuación, veremos algunas explicaciones sobre el origen y persistencia de las ideas alternativas y después nos detendremos en analizar algunas estrategias para el 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:

- Influencia de las experiencias físicas cotidianas.

- Influencia del lenguaje y de los diferentes medios de comunicación de masas.
- Existencia de graves errores conceptuales en algunos libros de texto y otros materiales didácticos.
- Profesores que tienen las mismas ideas alternativas que sus alumnos o bien que desconocen este problema.
- Estrategias de enseñanza y metodologías de trabajo poco adecuadas.

A continuación trataremos de profundizar en algunas de las causas enumeradas.

Influencia de las experiencias físicas cotidianas

A lo largo de la vida y comenzando desde la más temprana infancia, las personas están sometidas, a través de la interacción de los sentidos con el medio que nos rodea, a una serie de experiencias físicas comunes independientemente del medio social y cultural en el que cada uno se desarrolle. Así, por ejemplo, se observa que a menos de que se esté empujando continuamente un objeto, este 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, entre otros. El carácter muy reiterativo, sensorial y directo de dichas experiencias y, fundamentalmente, la forma habitual de interpretarlas mediante la utilización del pensamiento ordinario, conducen a elaborar determinadas explicaciones de esos hechos e interiorizarlas como evidencias incuestionables. Así se elaboran, por ejemplo, ideas 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, entre otros. Además, el hecho de que estas concepciones funcionen aparentemente bien y no lleven a resultados contradictorios en las experiencias personales que habitualmente se tienen en la vida diaria —cruzar una calle, jugar, hacer deporte, y otros—, hace que se fijen en la mente con un vigor tal que se convierten 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 precisamente las concepciones alternativas existentes en el campo de la mecánica, las más sólidas y duraderas, en función de que es, en este campo, donde las experiencias son, sin duda, más directas, reiterativas y globalizadoras, de tal forma que los niños, antes de recibir alguna instrucción científica al respecto, tienen ya unas ideas previas —preconcepciones— 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 —muy apropiadamente— como “la física del sentido común”. Como afirma la profesora Laurence 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 se está deslizando por una superficie no se pare y se mantenga en movimiento. La interpretación superficial de estos hechos conduce a interiorizar una idea de fuerza como causa del movimiento, que funciona aparentemente bien y 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 —y especialmente en el de la mecánica— no parecen ser unas cuantas ideas aisladas sino que, más bien, guardan entre sí una cierta coherencia interna que las refuerza. Ello explica que muchos autores se refiriesen a “esquemas” o “marcos conceptuales” alternativos. En cualquier caso, lo importante no es solo que los niños tengan determinadas preconcepciones, más o menos estructuradas, sino que la enseñanza de las ciencias, tras muchos años insistiendo en los mismos temas, apenas tenga incidencia sobre ellas y los alumnos, ya universitarios, no solo sigan arrasando las mismas preconcepciones sobre mecánica que cuando estaban en la escuela, sino que

además estén más seguros que al principio sobre su validez y las defiendan con más vehemencia.

Las conclusiones anteriores han sido avaladas por diversas investigaciones didácticas en las que se cuestiona la idea de que la existencia de concepciones alternativas profundamente arraigadas y difíciles de cambiar es general, y afecta por igual a distintos dominios científicos. Por el contrario, existen profundas diferencias que muestran cómo las más persistentes son las que están más intensamente relacionadas con las experiencias personales cotidianas, dando lugar a evidencias incuestionables. En este sentido, no es casual que el número de trabajos publicados en revistas de investigación didáctica sobre ideas alternativas, en el campo de la mecánica, supere a los trabajos sobre ideas alternativas en todos los demás campos científicos.

Influencia del lenguaje y de los diferentes medios de comunicación de masas

El lenguaje habitual está formado por palabras cuyo significado es fruto de las experiencias cotidianas vividas y sedimentadas por generaciones anteriores, 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 como los conocemos en el presente. Este es el caso, por ejemplo, de conceptos como: trabajo, calor, fuerza, fase, reductor, animal, neutralización, velocidad, aceleración, entre otros.

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 a veces que el primero apoya ciertas ideas alternativas bien conocidas. Así, por ejemplo, en el lenguaje cotidiano, suele identificarse trabajo con esfuerzo y cansancio; este significado apoya la idea alternativa de que se

realiza trabajo sobre un cuerpo solo cuando este 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—. El uso que se hace de fuerza como sinónimo de velocidad —"va muy fuerte" en lugar de "va muy rápido" o "la fuerza que se le comunicó al lanzarlo" en lugar de "la velocidad inicial con que salió"—. El significado vulgar que se atribuye a términos como "sustancia pura" como producto natural —sin añadidos ni contaminantes— lleva a identificar como sustancias puras 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, árbol o fruta en el lenguaje cotidiano lleva a identificar a las arañas, las palmeras o los higos —respectivamente— como pertenecientes a esas categorías, sin serlo. 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, a la expresión habitual de que tras un sueño "reparador" el cuerpo "recarga las pilas" o recupera la energía perdida —apoyando la creencia de que descansar es una forma de proporcionar energía al organismo—, entre otras.

Como es lógico, 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 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 crea que eso es así,

después de haber estudiado los conocimientos científicos pertinentes y lo utilizase en un contexto científico.

Así pues, el enfrentamiento que, en ocasiones, se produce entre algunas expresiones del lenguaje cotidiano y la terminología científica constituye una dificultad que merece ser tenida en cuenta. El alumno ha de ser consciente de las diferencias entre estas dos formas de comunicación y de cuándo usar una u otra. Otra cuestión es el papel que juegan, a veces, determinadas creencias muy arraigadas en gran parte de la sociedad, como sería, por ejemplo, la idea 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 en dormir al lado de un simple geranio, y si hay una planta en el dormitorio, por la noche se saca fuera. Sin embargo, hacer lo mismo con el compañero de habitación no es un suceso tan frecuente, —al menos por esa causa—.



En los medios de comunicación social, como la televisión o la prensa escrita, se detectan con cierta frecuencia claros errores conceptuales. A modo de ejemplo, en la figura adjunta se reproduce uno de ellos (una viñeta del dibujante “El Roto” publicada en el diario “El País” de 9 del noviembre de 2004).

Vale la pena detenerse a analizar brevemente la figura anterior desde el punto de vista de la física: si

consideramos el rozamiento con el aire algo nulo o poco importante —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 los cuerpos pesados como piedras o proyectiles es el reposo. Ello lleva a pensar que los proyectiles van quedando cada vez más retrasados, en lugar de todos quedar prácticamente 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.

Los errores conceptuales no solo se limitan a posibles ilustraciones de humoristas, sino que también pueden detectarse en informaciones más “serias”. En la imagen siguiente, extraída de un artículo del periódico *El País*, se puede comprobar cómo en el titular al pie de foto se apoya explícitamente la idea alternativa de que en el vacío no hay gravedad.



Los cosmonautas, en una cápsula de entrenamiento para viajar a la estación Mir en febrero de 1999. / REUTERS

Los cosmonautas pierden masa ósea por la ausencia de gravedad

Fuente: diario El País

En la publicidad, para vender más, se asegura que un producto tiene determinadas 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, llegando, 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 —mousse de yogur— para vender más resaltando su escaso aporte calórico.

Otro medio en el que se puede constatar la existencia de alguna idea alternativa importante es el cine. Como ejemplo, podemos citar la idea de que un rayo de luz se puede ver de la misma forma que vemos habitualmente los objetos ordinarios, cuando parte de la luz reflejada por ellos, llega a nuestros ojos e incide en la retina. Esto es lo que ocurre en la figura siguiente con las espadas de luz láser de la saga de la *Guerra de las galaxias*.



Fuente: archivo personal

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:

“¿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”.

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 murió del golpe. Esta idea es apoyada, aún más todavía, cuando se ilustra el pasaje con un dibujo en el que se puede ver claramente cómo la bala de cañón se sitúa por debajo, tirando del cuerpo del protagonista.

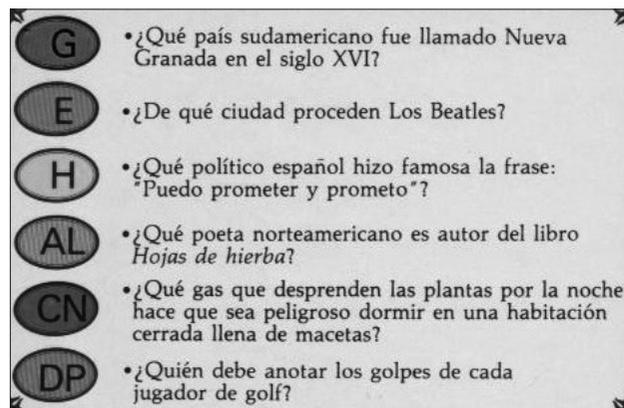
Análogamente ocurre en los conocidos libros de aventuras de literatura infantil sobre el barón de Munchhausen —también llevadas al cine—. Se trata de un personaje capaz de realizar espectaculares hazañas que contravienen conocidos principios de la dinámica y que, a veces, apoyan también determinadas ideas alternativas —fuerza como casusa del movimiento—. Entre tales hazañas cabe citar la de saltar en pleno vuelo desde una bala de cañón a otra que se mueve en sentido contrario, en el instante en que ambas se cruzan o la que se muestra en la ilustración adjunta; donde se puede ver cómo es capaz de salir de una ciénaga levantándose a él mismo y a su caballo, estirando de su propia coleta.



Fuente: archivo personal

Las ideas alternativas también pueden plasmarse en otros medios más “informales”. La figura adjunta corresponde a una ficha de un juego de “trivial”, en la que se advierte del peligro de dormir en una habitación en donde haya plantas, debido a un gas que estas emiten por la noche, lo que apoya la idea

alternativa de que las plantas respiran de forma diferente por la noche que por el día.



Fuente: archivo personal

En el siguiente ejemplo se refuerza la idea de que los seres humanos prehistóricos convivían con los dinosaurios. Se trata de una idea bastante común, fomentada también por otros medios como algunos dibujos animados y películas.



Fuente: archivo personal

Podría argumentarse que el lenguaje cotidiano no es el lenguaje científico y que, consecuentemente, a los medios de comunicación o de entretenimiento —novelas, prensa, cómics, películas, y demás— no se les puede exigir el mismo rigor científico que a otros medios más serios, dedicados a la formación. No obstante, aquí no se pretende reivindicar ningún cambio en los cómics recreativos, dibujos animados, ni demás, sino tan solo buscar explicaciones a una situación y, si fuera posible, aprovechar estos mismos medios como un instrumento más de aprendizaje. Donde sí hay que pedir bastante rigor científico, es en los libros de texto y otros medios —museos, revistas específicas y monográficos sobre temas científicos, entre otros—. Sin embargo, también aquí se cometen, en ocasiones, graves errores conceptuales.

Libros de texto y otros materiales didácticos con 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 se dé 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 llegar a utilizar un libro de texto dado.

Las siguientes frases pertenecen a distintos libros de texto españoles de enseñanza secundaria. En ellas se comparan magnitudes y unidades de medida distintas —peso con presión, velocidad con espacio recorrido, moles con gramos—, se maneja incorrectamente el principio de acción y reacción, se apoya la idea de fuerza como causa del movimiento, o la idea de que los peces respiran agua. El problema es que ahora no se trata de cómics, sino de libros de texto de física, química o biología, usados en centros de enseñanza.

“El peso del esquiador se reparte por los esquís y se hunde poco; la presión es menor que el peso”.

“La velocidad es el espacio recorrido en la unidad de tiempo”.

“Al ejercer una acción sobre un cuerpo en él aparece una fuerza de reacción igual y contraria a ella”.

“Se pasan los moles de CaO obtenidos a gramos utilizando la masa molecular del óxido”.

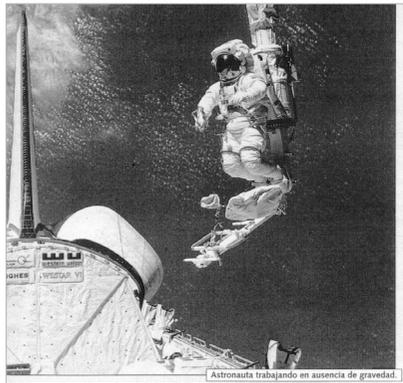
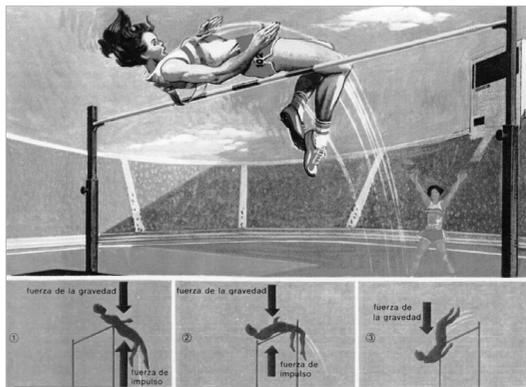
“Todo cuerpo material tiende a moverse en la dirección de la fuerza aplicada”.

“La mayoría de los animales acuáticos, como los peces, no respiran aire sino agua”.

También hay que tener en cuenta la existencia de muchas expresiones desafortunadas como: “la cantidad de calor almacenada por un cuerpo” o “el calor es una forma de energía”. Dichas expresiones,

cuando ni siquiera son matizadas, contradicen la idea de calor como un proceso de transferencia de energía de un sistema a otro.

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 conceptuales graves también se pueden detectar en algunas fotos y figuras, como las siguientes —correspondientes a dos libros de texto de física y química de conocidas editoriales españolas—:



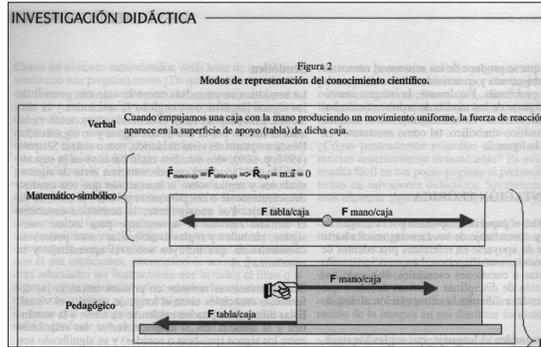
Fuente: archivo personal

En los tres pequeños recuadros de la parte inferior de la imagen del salto, se dibujan dos fuerzas: una —hacia abajo— se designa como fuerza de la gravedad mientras que la otra —hacia arriba— como fuerza de “impulso”. En ellos se puede ver cómo 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”, disminuyendo progresivamente, ya que se emplea precisamente en la subida. Justo cuando llega arriba, ambas 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, explicando así un movimiento en contra del estado natural de los cuerpos pesados —en el suelo y en reposo—. El problema es que sucede en un libro de texto de física y química para alumnos de secundaria.

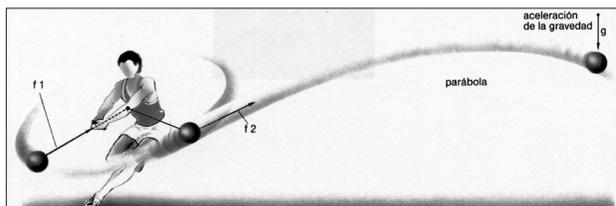
La segunda figura corresponde a la portada del tema de Dinámica de un libro de texto de física y química. La frase del pie de la foto dice “Astronauta trabajando en condiciones de ingravidez”. Si tenemos en cuenta que la Estación Espacial Internacional, orbita en torno a la Tierra a menos de 400 km de su superficie, se puede calcular fácilmente que allí el peso de los astronautas apenas ha disminuido un 12% respecto de su peso en la superficie de la Tierra. Se trata, por tanto, de una frase que apoya la idea de que en el vacío no existe gravedad o que apenas hay gravedad —algunas veces se habla de “microgravedad”—.

Hemos de señalar, no obstante, que en muchos casos los errores conceptuales de libros de texto no son de los autores sino de los dibujantes, y en consecuencia de la propia editorial que pone ilustraciones y comentarios a las mismas, sin consultar previamente con los autores. No ocurre lo mismo en el caso de los dos artículos —publicados ambos en una revista de investigación didáctica de ámbito internacional— donde, al parecer, pasaron totalmente desapercibidos dos graves errores sobre el concepto de fuerza. En la imagen que se refiere a una figura 10, por ejemplo, las fuerzas, una vez realizadas han quedado impresas en la niña y el carrito, apoyando la idea alternativa de fuerza como causa del movimiento; mientras que en la imagen que refiere a una figura 2, la fuerza de reacción a la que hace la mano sobre la caja, debería situarse en la propia mano.



Fuente: archivo personal

Algo similar ocurre en la ilustración que se representa más abajo, extraída de un periódico español —diario *Levante*— que publicó una colección monográfica sobre ciencia y en la cual es posible percatarse cómo la idea de fuerza como causa del movimiento ha llevado al autor a dibujar una fuerza (f_2), que en realidad no existe, en el mismo sentido que el movimiento de la bola.



Fuente: archivo personal

Algo bastante extendido en los libros de texto, es ignorar de hecho la existencia de ideas alternativas que afectan a distintos conceptos básicos y, consecuentemente, no suelen incluir actividades que permitan su detección ni su cuestionamiento. Así, por ejemplo, es posible explicar directamente el concepto de fuerza de la mecánica clásica, pasando por alto completamente la idea intuitiva de fuerza; también es habitual que cuando se incluyen modelos históricos, como el calórico, para explicar los

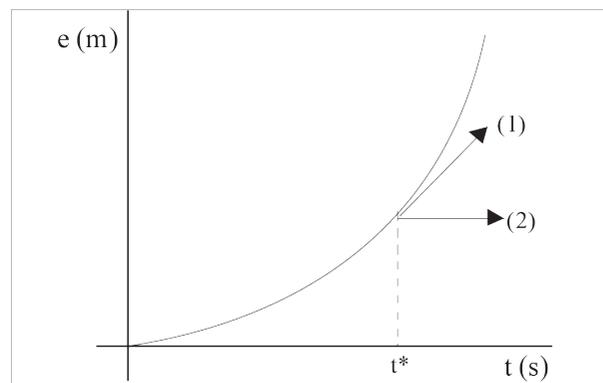
fenómenos caloríficos, o el de Lamarck para explicar el cambio biológico, se limiten a tratarlos meramente como algo ya pasado, sin tener en cuenta que también algo similar a esos modelos pueden tener los alumnos en la cabeza cuando piensan en el calor o en la selección natural.

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. El problema es que esta situación se dé también entre los mismos profesores que enseñan ciencias, pues parece evidente que quienes tengan determinadas concepciones alternativas difícilmente podrán ayudar a sus alumnos a superarlas. Así pues, es necesario garantizar una sólida y adecuada formación científica inicial, en la materia específica correspondiente, a todos aquellos futuros profesores que vayan a impartirla. Sin embargo, el requisito de una sólida formación científica, aunque imprescindible, en modo alguno puede ser suficiente, es posible que muchos profesores tengan una sólida formación científica y, aún así, ignoren en sus clases la posible existencia de concepciones alternativas entre sus alumnos. Ello se explica, en primer lugar, porque desafortunadamente, una sólida formación científica no siempre va acompañada de la formación didáctica correspondiente y a menudo simplemente se ignora la existencia de tales concepciones alternativas. Podemos encontrar, de este modo, 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, hay que preocuparse por explicar, claramente, que los contenidos sean adecuados a la edad del alumno, entre otros, 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 ignoran que algunas de ellas pueden ser tremendamente resistentes al cambio y piensan que pueden ser modificadas sin excesiva dificultad.

Otro aspecto importante sobre el que se debe insistir, es en la necesidad de un mayor conocimiento de la historia de la ciencia —que debería ser parte de esa formación científica—. 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, entre otros—. Un conocimiento respecto a cómo se desarrollaron y cambiaron los conocimientos científicos, los obstáculos que debieron superarse, las controversias en que se vieron envueltos muchos de ellos, y demás, puede ayudar a comprender muchas de las preconcepciones de los alumnos y 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, el calórico, el flogisto, las ideas de Lamarck, el vitalismo, entre otras, estará mucho más receptivo cuando en su clase surjan ideas que relacionen la fuerza con la velocidad, el calor con una sustancia —o con una energía—, dificultades respecto a la comprensión de la constancia de la masa en determinadas transformaciones, entre otras, y tendrá mejores elementos de juicio para comprender la persistencia de tales ideas y plantearse su proceso de cambio hacia las que trata de enseñar.

En ocasiones nos encontramos con 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 errores pero que sin embargo no existen elaboradas antes de la etapa escolar, ni tampoco se suelen dar como tales en personas sin ninguna cultura científica. En este sentido, decimos que son concepciones alternativas pero no preconcepciones. Un análisis de las cuestiones que se proponen a continuación nos ayudará a aclarar esta diferencia.



1. La gráfica anterior 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)
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. 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 este 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.
4. 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

En las preguntas anteriores, las 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 falso —solo si la temperatura es $25^{\circ}C$ —, 3b —basta con que la concentración de H_3O^+ sea mayor de 1 M—; 3c falso —aunque el ácido clorhídrico esté muy diluido este será más fuerte que el acético y siempre será capaz de desplazarlo de sus sales—; 3d —a condición de que se formen iones que puedan experimentar reacciones de transferencia de protones con el agua—; 4a —si no hay electrón no tiene sentido hablar de órbita—.

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 es cuando baja—, también son numerosos quienes piensan que existen órbitas vacías —¿de qué están hechas?—. Son 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 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 esas ideas alternativas no son preconcepciones, en el sentido de que no son ideas que ya existen como tales en la mente del alumno antes de que comience a estudiar los contenidos científicos correspondientes. 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 y persistencia de esas ideas bastante alejadas de las experiencias cotidianas de los alumnos. Esta conclusión tiene una gran importancia, por cuanto reorienta la búsqueda sobre el origen y persistencia de las ideas alternativas hacia la exploración de posibles fallos y carencias de tipo metodológico.

Como ya hemos señalado, el principal interés de las investigaciones sobre concepciones alternativas no reside en el conocimiento detallado de cuáles son dichas concepciones en cada uno de los campos o dominios científicos, aunque dicho conocimiento siga siendo hoy, en nuestra opinión, 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 nuevas estrategias metodológicas para la introducción de los conceptos científicos y el aprendizaje de las ciencias en general. Concretamente, la emergencia del constructivismo en lo que a la didáctica de las ciencias se refiere, está directamente relacionada con los aportes de las numerosas investigaciones realizadas en torno a las ideas alternativas sobre conceptos científicos.

El aprendizaje como cambio conceptual y metodológico

Durante una primera etapa, los errores conceptuales cometidos por los alumnos fueron vistos como obstáculos por derribar, algo contra lo cual luchar. No obstante, pronto se constató el fracaso de la enseñanza habitual para superar el problema. Así mismo, el estudio de los errores conceptuales se fue desplazando hacia el de las concepciones alternativas que los causaban. Los resultados obtenidos mostraron que dichas concepciones no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que, en general, se hallan integradas en la mente del sujeto formando verdaderos esquemas conceptuales, dotados de una cierta solidez y coherencia interna. Estos esquemas ya no son vistos como errores o como algo negativo, sino como estructuras cognitivas que interactúan con la información que llega desde el exterior y que juegan un papel esencial en el aprendizaje. Se habla así de esquemas conceptuales que van desde campos como la mecánica, hasta la nutrición, y de estrategias diseñadas para cambiar tales esquemas.

Hewson y Thorley, a finales de los años ochenta, enumeraban las condiciones que se requieren para conseguir cambios conceptuales. Podemos resumirlas diciendo que, cualquier concepción tiene un cierto “estatus” caracterizado por el grado de inteligibilidad, plausibilidad y utilidad con que es percibida por quien la detenta. En el momento en que un alumno considera una concepción nueva, que entra en contradicción con alguna de las que ya tiene, su aceptación plena requiere que el estatus de la nueva crezca mientras que el de la antigua disminuya. Para ello, es preciso que las concepciones iniciales sean vistas como inadecuadas, como dificultades que bloquean un aprendizaje mayor. Una cuestión fundamental es cómo conseguir ese cambio de estatus. Según Hewson, es preciso conocer el grado de estatus que una concepción determinada tiene para el alumno en un momento dado, incluyendo no solo el contenido que para él tiene esa concepción sino también sus opiniones, sentimientos y actitudes en torno a la misma. Según este autor, una forma de conseguir esto puede ser a través de entrevistas y diálogos, donde cada cual exprese sus ideas y las comente. En cuanto a los

profesores, opina que deberían de ser capaces de hacer dos cosas: diagnosticar las concepciones que sus alumnos usan para interpretar los fenómenos y controlar el estatus de las viejas y de las nuevas concepciones. Este control, en una fase posterior, convendría que fuese realizado por los mismos estudiantes.

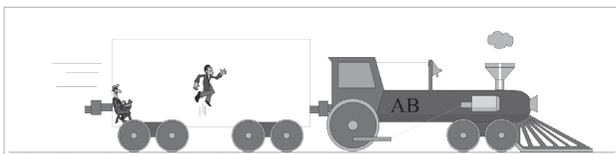
Por otra parte, Rosalind Driver, también a finales de los años ochenta, propuso un modelo para la enseñanza de las ciencias basado en el cambio conceptual. Dicho modelo se halla estructurado en torno a una secuencia de actividades específicamente elaboradas para conseguir dicho cambio. La secuencia constaba esencialmente de cuatro fases:

- Orientación: destinada a despertar la atención y el interés de los alumnos por el tema.
- Explicitación: consiste en la exposición por los alumnos de sus ideas.
- Reestructuración: donde han de modificarse las ideas de los alumnos por medio de diferentes estrategias que pueden incluir el uso combinado de contraejemplos o actividades destinadas a provocar insatisfacción con las propias ideas, modelos, analogías, diseño de experiencias para ayudar a clarificar y diferenciar ideas, entre otras. Dentro de esta fase, se incluye también la inclusión de diversas oportunidades para que los alumnos prueben y apliquen sus concepciones revisadas.
- Revisión del cambio de ideas: se trata de comparar las nuevas ideas con las iniciales, mostrando el mayor poder explicativo de las primeras respecto de las segundas.

Una cuestión por tener en cuenta es la necesidad de elaborar y de aplicar materiales curriculares concretos de fácil acceso a través de los cuales los profesores puedan desarrollar estrategias de cambio conceptual a lo largo de un curso escolar, pues los ejemplos a los cuales referirse no son muy abundantes y aunque los profesores sean plenamente conscientes del problema y quieran avanzar en su solución, no están muy seguros de cómo proceder en aulas masificadas, sin otro material de apoyo que el libro de texto y, en muchos casos, con un número excesivo de horas de clase.

Las estrategias de cambio conceptual propuestas por Driver fueron posteriormente usadas por otros investigadores, para introducir en ellas algunos matices y hacer sus propias propuestas al respecto. No obstante, cuando se intentan llevar a la práctica, incorporándolas al proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, suele ocurrir que los resultados no son tan buenos como en principio cabría esperar, ya que el cambio conceptual conseguido suele ser ilusorio o poco duradero, como lo demuestra el hecho de que poco tiempo después del “tratamiento” los alumnos vuelvan a cometer los mismos errores. Este fenómeno se detecta especialmente cuando se plantean preguntas en las que están involucrados los mismos conceptos científicos pero en contextos o situaciones diferentes a las que se usaron en el “tratamiento”. A continuación se intenta aclarar lo que estamos diciendo mediante el estudio de un ejemplo concreto.

1. Una persona se encuentra en el centro de un vagón de tren que se mueve sobre una vía recta con movimiento uniforme y a gran velocidad. Otro pasajero ve que, en un instante dado, esa persona da un salto vertical y hacia arriba. ¿En qué zona del vagón caerá?



Fuente: archivo personal

a. En el mismo lugar que estaba. b. más adelante de donde estaba. c. más atrás de donde estaba.

Como es lógico, la respuesta científicamente aceptable a la cuestión anterior es que, en las condiciones que se especifican en el enunciado, la persona caería siempre en el mismo punto del suelo del vagón desde donde inició el salto, ya que su velocidad horizontal respecto de la vía no se ve alterada por el movimiento vertical respecto del suelo del vagón. No obstante, algunas personas —sobre todo niños—, piensan que al perder contacto con el tren, el pasajero deja de avanzar inmediatamente, por lo que caerá retrasado respecto del lugar del vagón donde inició el salto —tanto más, cuanto más alto

salte y más rápido se mueva el tren—. Se trata de una idea intuitiva coherente con el esquema conceptual de fuerza como causa del movimiento —de la velocidad— tomando el propio espacio como sistema de referencia en reposo absoluto. El razonamiento consiste en pensar que perder contacto con el tren implica que cesa la fuerza que “lo mantiene en movimiento” y, por tanto, cesa inmediatamente ese movimiento según la horizontal. La misma idea hace pensar que, cuando se suelta un objeto desde un avión en pleno vuelo, dicho objeto quedará retrasado respecto del movimiento horizontal del avión.

Es posible utilizar estos ejemplos del tren o del avión junto con estrategias de enseñanza basadas en el cambio conceptual y pensar que los alumnos, finalmente, admiten que el movimiento rectilíneo y uniforme es un estado tan natural, como pueda ser el reposo, y que cuando el pasajero salta hacia arriba desde el centro del vagón, no por ello pierde ni modifica de ninguna manera la velocidad horizontal que llevaba. Sin embargo, también es posible —y frecuente— que posteriormente cuando proponemos una cuestión como la que se expone a continuación, nos veamos obligados a revisar esa conclusión.

2. Tres estudiantes van corriendo en línea recta uno detrás de otro. En un instante dado ven que el que va adelante lanza una bola verticalmente hacia arriba. ¿De qué dependerá el que esta sea recogida por uno u otro?



Fuente: archivo personal

A la pregunta anterior se puede responder aceptablemente de diversas formas. Por ejemplo, se puede decir que dependerá del rozamiento con el aire o de si alguno o algunos de los corredores cambian de velocidad, pero también es posible volver a cometer un error conceptual, reflejo de una idea alternativa que se creía ya superada. Nos referimos concretamente a quienes afirman que la bola será recogida por uno u otro corredor debido a defactores como: la fuerza con que se lance la

bola, la altura que alcance, el tiempo que permanezca en el aire, y otras. Este tipo de respuestas revela que la idea alternativa de fuerza como causa del movimiento todavía sigue vigente, no ha evolucionado de forma efectiva hacia el concepto newtoniano de fuerza, según el cual, si se considera el rozamiento con el aire despreciable, no cambiará la componente horizontal de la velocidad de la bola por lo que, independientemente de la velocidad inicial con que se lance, siempre será recogida por el estudiante que la lanzó —si mantienen la velocidad a la que corren constante—.

Conviene tener en cuenta que el problema planteado en este tipo de cuestiones fue, históricamente, uno de los argumentos esgrimidos en contra de la teoría heliocéntrica de Copérnico, cuando sus detractores afirmaban que, si fuese cierto que la Tierra se mueve alrededor del Sol a la vez que gira sobre sí misma, cuando dejásemos caer una piedra desde lo alto de una torre no podría caer perpendicularmente, el alcance de los proyectiles sería distinto hacia el este que hacia el oeste, las nubes quedarían retrasadas, y demás.

Esta dificultad para cambiar ciertas ideas alternativas de los estudiantes, incluso aún cuando se utilizan estrategias de enseñanza orientadas explícitamente al cambio conceptual, ha sido denunciada reiteradamente por distintos autores desde hace ya mucho tiempo. Las dificultades encontradas muestran la necesidad de profundizar en el modelo de aprendizaje de las ciencias teniendo en cuenta otros aspectos, además de la existencia de ideas alternativas y las estrategias de cambio conceptual.

Sabemos que algunas ideas alternativas recuerdan poderosamente 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 el concepto de heredabilidad de caracteres defendido por Lamarck, según el cual, los cambios anatómicos y fisiológicos son debidos a necesidades provocadas por las condiciones ambientales, de forma que el uso continuado haría aumentar un órgano, mientras que el no uso continuado lo disminuiría llegando a atrofiarlo, siendo además estos cambios transmitidos a

la descendencia, o la misma idea de la generación espontánea. Este paralelismo, puesto de manifiesto reiteradamente por diversos autores, tiene importantes consecuencias didácticas. En primer lugar podemos plantearnos a qué se debe y en segundo lugar sobre cómo pudo realizarse históricamente el cambio de las ideas antiguas por las nuevas. Todo ello puede suministrar una valiosa información sobre el origen de las concepciones alternativas y ser de gran utilidad a la hora de diseñar estrategias adecuadas para conseguir cambios conceptuales más profundos y duraderos.

El hecho de que nuestros alumnos tengan, por ejemplo en mecánica, ideas similares a las concepciones aristotélico-escolásticas, no puede ser en modo alguno fruto de la casualidad, sino que debe responder a causas también similares. Dichas causas hay que buscarlas, fundamentalmente, en la tendencia a extraer conclusiones precipitadas, hacer generalizaciones acríticas basándose en observaciones meramente cualitativas, realizar análisis superficiales, entre otras. Es decir, en lo que hemos denominado “metodología de la superficialidad” o “metodología del sentido común”. Es precisamente esta metodología la que lleva a Aristóteles a escribir textualmente que: “Un peso dado cubre una distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en menos tiempo estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así si un peso es doble que otro, invertirá la mitad de tiempo en un movimiento dado”.

La misma metodología es la que conduce a nuestros alumnos a pensar, análogamente, que los cuerpos cuanto más pesados, más aprisa caen o que los gases no pesan, que los cuerpos se mueven siempre en la dirección de la fuerza resultante, que las plantas por la noche respiran de forma contraria a cómo lo hacen en el día, entre otras. Lo esencial, pues, no es que algunas ideas alternativas de los alumnos tengan un cierto parecido con determinadas concepciones vigentes durante determinados periodos de la historia de la ciencia, sino que, la metodología que está en el origen de ambas se asemeje. Esta reflexión tiene una importancia crucial, ya que permite profundizar y avanzar en el estudio de las concepciones alternativas. En efecto, no debe olvidarse que las ideas presentes en la física “del

sentido común” estuvieron vigentes durante siglos y solo pudieron ser superadas cuando se produjo un cambio metodológico que vino a superar las evidencias aparentes, introduciendo una forma de pensamiento más creativa y rigurosa. Una metodología que obligaba a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis —poniendo en cuestión lo que se daba por obvio—, a someter estas hipótesis a su contrastación empírica en condiciones cuidadosamente controladas, a analizar críticamente los resultados, entre otros; es decir, cuando comenzó a aplicarse una forma de trabajo que hoy calificaríamos como metodología científica.

Históricamente, el cambio al que nos hemos referido en el párrafo anterior no fue en absoluto fácil, y es lógico pensar que lo mismo ocurra con nuestros alumnos: solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología —es decir, en situación de plantearse problemas de interés, construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global de los conocimientos— será posible que superen la metodología de la superficialidad, al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que, en ocasiones, exige la construcción del conocimiento científico.

Por otra parte, la metodología del sentido común se ve reforzada también por las concepciones simplistas respecto de la naturaleza de la ciencia, las características del trabajo científico y los propios científicos. En efecto, si un alumno o incluso un profesor piensan que la ciencia se basa en la observación pura y neutral, y que en ella no tienen cabida las especulaciones, que la imaginación y la creatividad son cualidades típicas de los artistas pero no de los científicos, que existe un método científico a modo de una serie de pasos por seguir en un orden determinado, entre otras ideas similares; la metodología que utilice para aprender o para enseñar ciencias, probablemente no será muy diferente. Todo ello permite comprender que no sea fácil cambiar lo que hemos denominado metodología del sentido común por otra metodología más coherente con la metodología científica.

En definitiva, una posible explicación de por qué algunas ideas alternativas son tan difíciles de cambiar y de que, a pesar de aplicar en clase estrategias de cambio conceptual, no se consigan cambios efectivos, sin que los alumnos reviertan al poco tiempo a ideas espontáneas que se creían ya superadas, podría residir en el hecho de que tales modelos de enseñanza no estuviesen convenientemente diseñados para producir el imprescindible cambio metodológico que se requiere. Con ello, no estamos afirmando que los modelos de cambio conceptual se reducen únicamente a cambios en el contenido de los conceptos, sino que, en dichos modelos, no se presta realmente la atención necesaria al cambio metodológico. A este respecto, no basta con hablar de cambio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que este comporta. Por el contrario, cabe temer que, sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades más creativas del trabajo científico, como la invención de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, el análisis crítico de resultados, la búsqueda de coherencia global, entre otras, continuarán prácticamente ausentes de las clases de ciencias.

El cambio metodológico al que acabamos de referirnos forma parte de un modelo de enseñanza de las ciencias coherente con las características esenciales de la investigación científica, el cual se puede esquematizar de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Plantear situaciones problemáticas que, teniendo en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes de los estudiantes, puedan generar interés y proporcionen una concepción preliminar de la tarea por realizar.
2. Proponer el estudio cualitativo de las situaciones problemáticas planteadas y la toma de decisiones, con la ayuda de las necesarias búsquedas bibliográficas, para acotar problemas precisos —oportunidad para que los estudiantes comiencen a hacer explícitas, de manera funcional, sus ideas previas, acertadas o no, y a manifestar sus formas de pensamiento—.

3. Orientar hacia el tratamiento científico de los problemas mediante —entre otros aspectos—:
 - La construcción de conceptos y de hipótesis, lo que implica la utilización de las ideas que cada uno tenga en ese momento para elaborar definiciones, proponer expresiones operativas o realizar predicciones.
 - El diseño de posibles estrategias de resolución —incluyendo, en su caso, diseños experimentales— para la contrastación de las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos disponible.
 - La resolución propiamente dicha y el análisis de los resultados, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de conflicto entre distintas concepciones, tomadas todas ellas como hipótesis, y obligar a considerar otras hipótesis diferentes a las que se tenían inicialmente.
4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, para hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos, poniendo un énfasis especial en las relaciones existentes entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, que tengan que ver con los conocimientos considerados —propiciando a este respecto la toma de decisiones—. Proponer actividades específicamente diseñadas para detectar la permanencia de posibles ideas alternativas, comparando las respuestas con las que podrían darse si dichas ideas no hubieran sido cambiadas con anterioridad —favorecer la autoestima al darse cuenta del progreso alcanzado en el aprendizaje—.
5. Diseñar los contenidos por desarrollar y su secuenciación, de manera que permitan mostrar el carácter de cuerpo coherente de conocimientos que tiene toda ciencia. Favorecer particularmente la resolución de problemas concretos mediante estrategias diferentes —lo que permite darse cuenta de la validez de los conceptos manejados— y la elaboración de modelos teóricos —modelo cinético-corpúscular, modelos atómicos, modelo ondulatorio, y otros— analizando su funcionamiento para explicar toda una serie de hechos, predecir otros nuevos y también los

cambios que pueden experimentar —su evolución— desarrollando así una imagen más dinámica de la ciencia.

6. Proponer actividades de síntesis —esquemas, memorias, mapas conceptuales—, la elaboración de productos —susceptibles de romper con planteamientos excesivamente “escolares” y de reforzar el interés por la tarea— y favorecer el planteamiento de nuevos problemas de interés siguiendo el hilo conductor establecido.

Los aspectos anteriores tienen un carácter teórico y general. Sin embargo, es preciso no quedarnos ahí y tratar de aplicarlos en la elaboración de unidades didácticas o temas concretos de materias científicas como física, química o biología, para ser utilizados en la enseñanza media o en la universidad, tratando de llenar ese gran vacío que, desafortunadamente, se da entre los resultados de la investigación didáctica y la existencia de materiales de trabajo para el aula coherentes con ellos. Es en ese contexto, y no en otro, donde se puede analizar realmente en qué medida se producen los cambios conceptuales y metodológicos más o menos efectivos en nuestros alumnos.

Utilización didáctica de los errores conceptuales

Tradicionalmente, las preguntas que permiten poner de manifiesto la existencia de posibles ideas alternativas han sido, en su mayoría, cuestiones específicamente diseñadas a tal efecto. Dichas cuestiones se suelen plantear a los alumnos para que las contesten individualmente al comienzo de un tema —normalmente para detectar esas ideas y ponerlas de manifiesto— o al final del mismo —para comprobar si ya han sido superadas y cambiadas por las ideas científicas que los profesores de ciencias tratamos de enseñar—.

Anteriormente, hemos analizado las estrategias de cambio conceptual y hemos intentado fundamentar la necesidad de un cambio metodológico si queremos mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y con ello el cambio de las ideas alternativas de los alumnos —cuando las tengan— por las ideas científicas que tratamos

de enseñarles. Por tanto, las cuestiones sobre ideas alternativas han de incorporarse de forma funcional a este modelo de enseñanza y aprendizaje, integrándose en el desarrollo de cada tema. Es dentro de ese marco teórico donde cabe plantearse su utilización para que los alumnos, en pequeños grupos de trabajo, construyan las respuestas más adecuadas.

La estrategia anterior es posible llevarla a cabo con otros materiales que, en principio, pueden presentar mayor interés para los alumnos. Nos referimos concretamente al análisis de diversos recortes de prensa, hojas de cómics, novelas o incluso libros de texto, donde se hallen presentes graves errores conceptuales. No es difícil llegar a la conclusión de que dicho análisis presenta una serie de ventajas, como:

- Resulta atractivo para los alumnos ya que la mayor parte de las veces el error tiene que ver con imágenes y no podemos olvidar el importante papel que para ellos tiene la imagen. Por otra parte, identificar un error en imágenes suele ser más sencillo que en un texto.
- Supone un cambio de rol en el que los estudiantes pasan de ser evaluados a ser evaluadores, lo que suele hacer que se esfuercen más en el análisis y en sus argumentaciones a la vez que fomenta su autoestima.
- Practican un aspecto esencial del trabajo científico, como es el análisis crítico de algo a la luz del cuerpo de conocimientos vigente, favoreciendo la construcción de una imagen de la ciencia y del trabajo científico más próximo a la realidad.
- Contribuye a desarrollar una actitud más positiva hacia la ciencia y su aprendizaje.

Conviene insistir en que no se trata de pasar a los alumnos cuestiones para ver si cometen o no errores conceptuales. Por el contrario, se les da una información —en este caso las hojas con recortes de prensa, viñetas de cómics, y otros— y se les pide que realicen un análisis crítico de la misma,

desde el punto de vista científico. Naturalmente, si se hace esto en clase, también conviene incorporarlo a las pruebas de evaluación que se realizan periódicamente. Hay que tener en cuenta que no se trata de analizar los numerosos errores que, desde el punto de vista científico, se pueden encontrar en los distintos medios mencionados, sino de centrarse fundamentalmente en aquellos que puedan apoyar ideas alternativas muy sólidas y persistentes, y utilizar el análisis de esos errores conceptuales como una herramienta más para mejorar el aprendizaje de las ciencias dentro de un modelo de enseñanza y aprendizaje, acorde con el proceso de producción de los conocimientos científicos, y utilizando unos materiales didácticos —entre ellos los distintos temas del curso— coherentes con dicho modelo.

Como es lógico, para poder realizar los análisis anteriormente mencionados, es necesario un largo proceso previo de búsqueda de errores conceptuales graves —que tengan que ver con conceptos científicos fundamentales—, en cómics, periódicos, novelas y libros de texto. Estos errores conceptuales se pueden agrupar de acuerdo con la idea alternativa con la que estén relacionados. El proceso puede continuar indefinidamente construyendo así una colección de textos e imágenes de indudable valor educativo. Todo ello también puede ser usado con los profesores de ciencias en formación y pedirles una búsqueda bibliográfica de errores conceptuales en este tipo de materiales y el análisis crítico de los mismos desde el punto de vista científico. A continuación, a modo de ejemplo, comentaremos algunos casos.

El estado natural de los cuerpos pesados es el reposo, de modo que cuando cesa la fuerza que “los mantiene en movimiento” cesa inmediatamente ese movimiento

Se trata de una idea ampliamente extendida entre muchos alumnos y de la que hemos encontrado numerosos ejemplos que la apoyan, en cómics y prensa escrita. A continuación se reproducen tres casos —dos de cómic y uno de un chiste gráfico publicado en un periódico—.



Fuente: archivo personal



Los cuerpos, cuanto más pesados son, llegan antes al suelo

Esta idea está conectada con la de fuerza como causa del movimiento. Se admite que si un objeto tiene más masa pesa más, pero luego la idea de fuerza como causa del movimiento lleva a razonar que si es atraído hacia el suelo con más fuerza deberá llegar antes, de tal forma que los tiempos empleados en llegar a suelo por dos objetos que se dejan caer desde la misma altura serán inversamente proporcionales a los respectivos pesos —considerando siempre situaciones en las que se pueda despreciar el efecto del rozamiento con el aire—.

Concretamente, la idea anterior lleva a pensar que si un cuerpo pesa el doble que otro, cuando se dejan caer desde la misma altura, el primero empleará en llegar al suelo justo la mitad de tiempo que el segundo, o que cuando se lancen verticalmente hacia arriba con la misma velocidad, el primero alcanzará justamente la mitad de altura que el segundo.

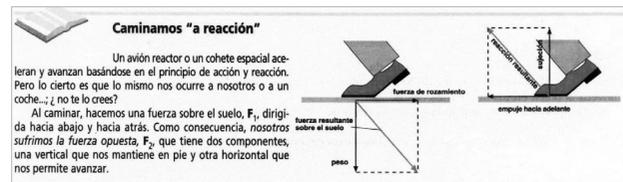


Fuente: archivo personal

La fuerza normal que un objeto hace sobre el suelo es el peso del cuerpo

Se trata de una idea alternativa muy extendida y que supone un serio obstáculo para un correcto aprendizaje de uno de los principios más importantes de la dinámica: el principio de acción y reacción

En el ejemplo siguiente —extraído de un libro de texto de física y química de secundaria—, la idea alternativa ha llevado a señalar explícitamente al peso como una fuerza que se hace sobre el suelo cuando, en realidad, el peso es la fuerza gravitatoria con que la Tierra atrae a la persona y, por tanto, se ejerce sobre la persona mientras que su pareja en la interacción —del mismo módulo y sentido contrario—, se ejerce sobre la Tierra.



Fuente: archivo personal

Las chimeneas de los volcanes llegan al mismo núcleo terrestre

Esta idea alternativa se basa posiblemente en identificar la lava incandescente que sale de los volcanes con el material que está hecho el núcleo terrestre y podemos encontrarla habitualmente en un amplio sector de la población. Consecuentemente con dicha idea, los conductos por los que asciende la lava ardiente han de conectar el volcán con el mismo núcleo de la Tierra, que es donde se piensa está alojado todo ese material. Esto es lo que parece apoyarse en la famosa novela de Julio Verne *Viaje al centro de la Tierra* tal y como se puede apreciar en el texto de las viñetas siguientes:



Fuente: archivo personal

Puede haber corriente aunque el circuito esté abierto y no haya diferencia de potencial

Algunos estudiantes parecen utilizar un razonamiento “secuencial” para describir lo que ocurre en un circuito, según el cual la corriente eléctrica continua es similar a una corriente de agua circulando en un determinado sentido y lo que hagamos en un punto determinado del circuito afectará a los puntos que hay detrás —en el sentido de la corriente— pero no a los que hay delante. De esta idea se pueden derivar consecuencias importantes. Así, si en un circuito existen dos bombillas en serie y encendidas, y cortamos el hilo entre ambas la segunda se apagará pero la primera continuará encendida. No se tiene en cuenta que, en ese caso, no habría diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia que constituye cada bombilla y que, por tanto, ambas dejarían de lucir.



Fuente: archivo personal

En las viñetas anteriores la corriente pasa a través de los personajes sin que exista ninguna diferencia de potencial entre su mano y sus pies —que se hallan en el aire—.

Para terminar, es necesario resaltar las implicaciones didácticas del cambio conceptual y metodológico sobre la enseñanza de las ciencias en general y cómo afectan en particular a aspectos claves como la introducción de conceptos teóricos, las prácticas de laboratorio y la propia resolución de problemas de lápiz y papel; pues son temas que por su importancia se han constituido en otras tantas líneas de investigación de la didáctica de las ciencias, habiéndose publicado ya gran cantidad de trabajos en cada una. Señalar también la necesidad de no limitar la investigación sobre ideas alternativas a los contenidos conceptuales en el campo de los conceptos científicos y extenderla también a otros, como el estudio de las ideas espontáneas o simplistas respecto de la naturaleza de la ciencia y el trabajo científico, la evaluación, los graves

problemas socioambientales que afectan al planeta, entre otros.

Referencias bibliográficas

- Banet, E. y Núñez, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 105-110.
- Campanario, J. M. (2003). De la necesidad, virtud: cómo aprovechar los errores y las imprecisiones de los libros de texto para enseñar física. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), 161-172.
- 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), 45-46.
- Cañal, P. (1997). La fotosíntesis y la “respiración inversa” de las plantas: ¿un problema de secuenciación de contenidos? *Alambique*, 14, 21-36.
- Carrascosa, J. (1985). Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 230-234.
- Carrascosa, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales* (Tesis doctoral). Universitat de Valencia.
- Carrascosa, J. et al. (1991). Diferencias en la evolución de las preconcepciones científicas: un instrumento para la comprensión de su origen. *O Ensino de Física*, 13, 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).
- Cervantes, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 66-70.
- Dominguez Castiñeiras, J. M., Pro, B. A. y García Rodeja, F. E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 461-475.

- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Duit, R. (2004). *Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE)*. Kiel, Germany: Leibniz Institute for Science Education (IPN). Available: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>
- Engel, E. and Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.
- Fredette, N. and Lochhead, J. (1981). Students' conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.
- Furió, C., Azcona, R. y Guisasola, 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), 229-242.
- Furió, C. y Guisasola, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las ciencias*, 19(2), 319-334.
- Gallego Torres, A. P. (2002). *Contribución del Cómic a la Imagen de la Ciencia*. (Tesis Doctoral). Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.
- Gil, D. et al. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Horsori: Barcelona.
- Gil, D. and Carrascosa, J. (1985). Science Learning as a Conceptual and Methodological Change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 1985.
- Gil, D. y Carrascosa, J. (1990). What to do about science misconceptions? *Science Education*, 74(5).
- Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Gallego Torres, A. P. y Fernández, I. (2000). Contribución del cómic a la imagen de la ciencia. *Tecne Episteme y Didaxis. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Pedagógica*, 7, 22-35.
- Gil-Pérez, D. et al. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.
- Granda, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 239-243.
- Guisasola, 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), 281-293.
- Hewson, P.W. and Thorley, N.R. (1989). The conditions of conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, special issue, 541-553.
- Hierrezuelo, J. et al. (1989). *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Ed. Laia MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1990). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1992). Thinking about theories or thinking with theories? a classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14(1), 51-61.
- Jiménez Liso, M. R. and De Manuel Torres, E. (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 451-464.
- Jimenez, M. P. (1987). Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 165-167.
- Kaminski, W. (1991). *Optique elementaire en classe de quatrième: raisons et impacte sur les maîtres d'une maquette d'enseignement* (Tesis doctoral). Universidad de Paris 7.
- Llorens, J. A., De Jaime, M. C. y Llopis, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 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), 83-91.
- Manrique M. J., Varela, P. y Favieres, A. (1989). Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 292-295.
- McDermott, L.C. (julio, 1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 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 abordos metodológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 3-18.
- Perales, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 13-30.
- Perales, F. J. y Jiménez, J. D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza -aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.
- Pérez, C.H. y Solbes, J. (2003). Algunos problemas de la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), 135-146
- 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), 72-79.
- Viennot, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Paris: Herman.
- Wandersee, J., Mintzes, J. J. and Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan Publishing Company.