

PUBLICACIONES RECIBIDAS

FÍSICA CON ORDENADOR

Franco García, A.

La proliferación de los ordenadores personales supone la aparición de nuevas técnicas de apoyo del aprendizaje, de cuya generalidad no nos ocuparemos aquí. Una de estas técnicas es el uso de los ordenadores personales para ejercitarse en los distintos temas de una asignatura; están apareciendo libros cuyo título suele ser «La materia X con ordenador» los cuales suelen llevar algunos discos acompañando a las páginas de papel usuales. El libro que comentamos se inscribe en esta línea y es el primero en castellano que cae en mis manos, aunque no son tampoco muy corrientes en otros idiomas.

El autor ha hecho un esfuerzo de presentar un material que pueda utilizarse con el ordenador más sencillo, incluso sin disco duro, con lo cual ha obtenido un producto cuya relación calidad-precio está muy bien. Según parece, por unas 1500 pesetas, el alumno (o el profesor) puede adquirir un material que, con la ayuda de un sencillo ordenador y sin más conocimientos previos, puede ser muy útil para practicar las materias que va estudiando en cualquier curso de Física General.

Las introducciones a los temas no sustituyen en absoluto a los libros de texto, cuyas referencias se indican, sino que son un repaso que lleva rápidamente a los conceptos que se utilizan en las actividades.

La novedad del proyecto implica, no obstante, algunas carencias y defectos que seguramente irán mejorándose con el tiempo. En primer lugar, algunos de los temas escapan a un curso convencional de Física General, sobre todo los del llamado nivel avanzado; aunque se trata de temas atractivos de lo que se llama Física Moderna, es probable que un alumno de un primer curso tenga dificultad en entenderlos. Convendría también que, en posteriores ediciones, se mejorara alguno de los ejercicios para hacerlos más atractivos y claros. Un último problema tiene que ver con el lenguaje de programación utilizado, que no es más que un simple basic; un lenguaje de más nivel permitiría unos resultados mucho más atractivos, implicando, eso sí, el uso de un ordenador más sofisticado por parte del usuario.

SELECCIONES BIBLIOGRÁFICAS TEMÁTICAS

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN MECÁNICA

Dinámica: Las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento

*J. Carrascosa Alís y D. Gil Pérez.
Servei de Formació del Professorat de la
Conselleria de Cultura, Educació i Ciència.
Departament de Didàctica de les Ciències.
Universitat de València.*

Introducción

No es ninguna exageración afirmar que los estudios sobre errores conceptuales, preconcepciones, etc. han constituido la línea de investigación en Didáctica de las Ciencias que más se ha desarrollado en la pasada década, muy particularmente en nuestro país. Un buen índice de dicho desarrollo es el gran número de

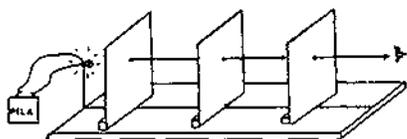
trabajos publicados en *Enseñanza de las Ciencias* sobre este tema. Lo mismo puede decirse de las diversas tesis presentadas que tocan más o menos directamente la problemática de los errores conceptuales (Gené 1986, Solbes 1986, Carrascosa 1987, Llorens 1987, Jiménez 1989, San Martín 1989, Azcárate 1990, Cañal 1990 ...), así como de la importancia concedida a su estudio en la mayoría de los libros sobre Didáctica de las Ciencias publicados durante ese período (Giordan 1982, Driver, Tiberghien y Guesne 1989, Hierrezuelo y Montero 1989, Calatayud et al. 1988, Gil et al. 1991...).

Esta abundancia de trabajos ha dado lugar ya a varias selecciones bibliográficas, publicadas en esta revista, que resultan particularmente útiles para quienes se inician en este campo de investigación (Carrascosa 1983 y 1985, sobre preconcepciones de Física y Química; Furió 1986, sobre Química; Jiménez 1987, sobre Biología; Perales y Nieves 1988, sobre Óptica; Varela 1989, sobre Electricidad...).

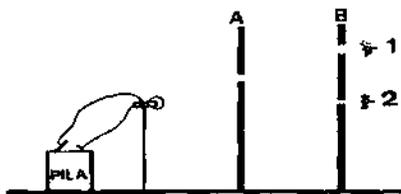
La selección bibliográfica que presentamos aquí, difiere de las habituales en que está específicamente centrada en presentar las cuestiones que distintos autores han diseñado para la detección de las concepciones alternativas. *Algunos trabajos similares han sido ya realizados por Carrascosa (1987), Hierrezuelo y Montero (1989), etc.* No pretendemos aquí poner al día las selecciones precedentes destacando los trabajos recientes de interés, etc. Se trata, fundamentalmente, de recoger aquellas cuestiones enunciadas en los distintos artículos, tesis, etc. que nos han parecido de interés tanto para la detección de las concepciones alternativas —uso para el que en general fueron diseñadas— como, sobre todo, para el tratamiento de las mismas. Expondremos, en primer lugar, la idea central que preside este uso de las cuestiones sobre concepciones alternativas como instrumento de aprendizaje.

Las estrategias de enseñanza de la Física más usuales se basan a menudo en la búsqueda de aquellas explicaciones,

ejemplos, experiencias, etc. que son fácilmente comprendidas por los alumnos. Así, para que los alumnos entiendan que la luz se propaga en línea recta, se recurre por ejemplo a plantear (y si es posible a realizar la experiencia correspondiente) la cuestión de un haz luminoso que atraviesa tres pantallas con un pequeño orificio central.



Los alumnos no tienen ninguna dificultad en comprobar que, al mover una cualquiera de las pantallas, se impide que la luz llegue al observador situado a la derecha, etc. La propagación rectilínea de la luz es aceptada y, parece ser, comprendida sin mayores dificultades. Esto es al menos lo que solemos imaginar los profesores que, presionados por la amplitud de los programas, etc., pasamos sin más «pérdidas de tiempo» a otro aspecto. Al actuar así, sin embargo —es decir al conformarnos con lo aparente sin cuestionarlo—, nos estamos rigiendo por una forma de actuación más próxima al pensamiento común que al científico. Una actitud más científica llevaría a buscar nuevas situaciones no tan obvias, que no conduzcan casi mecánicamente a la respuesta correcta, con objeto de constatar si las respuestas a las mismas son coherentes con el conocimiento que se supone que se ha adquirido. Es en este punto en el que las cuestiones elaboradas para la detección de las concepciones alternativas se muestran de gran utilidad, puesto que se trata de cuestiones que demandan una reflexión cualitativa, pudiendo contribuir a una mayor profundización de los conocimientos y a un aprendizaje más significativo. Así, en relación con la cuestión mencionada sobre la propagación rectilínea de la luz, las cuestiones y experiencias diseñadas por Kaminski (1989) muestran que la comprensión de dicha propagación es en muchos casos más aparente que real o, si se prefiere, funciona tan sólo parcialmente en algunas situaciones muy simples como la descrita. Kaminski ha mostrado, en efecto, que ante un esquema como el que se expone a continuación, en donde se consideran dos pantallas negras A y B, muchos alumnos (y también algunos profesores) consideran que por el orificio 2 de la segunda pantalla se vería iluminado el agujero de la primera siendo así que, precisamente, debido a la propagación rectilínea de la luz, sólo llegaría luz al orificio 1 de la pantalla B y desde el 2 no se vería nada.



Una cuestión como la que acabamos de exponer (junto con las correspondientes observaciones posteriores) puede hacer mucho más por una correcta comprensión de la propagación rectilínea de la luz —pese, o quizás gracias, al elevado porcentaje de errores— que la pregunta clásica, reproducida anteriormente con su cerca del 100% de respuestas correctas.

El aprendizaje significativo de los conceptos científicos es un proceso que exige dedicarle un cierto tiempo y que precisa de actividades problemáticas en donde los alumnos puedan cuestionar frecuentemente sus propias ideas y poner a prueba los nuevos conocimientos que se vayan introduciendo. En este sentido, las cuestiones sobre concepciones alternativas constituyen un poderoso instrumento para su tratamiento funcional, es decir, son actividades que no sólo pueden utilizarse como simple diagnóstico, sino que a su vez sirven también para aprender y para evaluar lo aprendido, por lo que pueden jugar un importante papel en un planteamiento más correcto del aprendizaje de las ciencias.

El ejemplo que hemos comentado constituye una buena muestra del interés didáctico de este tipo de cuestiones, de las que presentamos aquí una primera selección de 45 cuestiones, centrada en el campo de la mecánica y, más concretamente de la dinámica, que es con mucho el más estudiado.

Sin duda éste es el campo de la Mecánica y de toda la Física en el que más preconcepciones se han detectado y estudiado y también en el que más cuesta cambiarlas (Carrascosa et al. 1991). El subtítulo de la selección (Las fuerzas como causa del movimiento) parece indicar que nos encontramos ante una única preconcepción básica. En realidad, como podrá constatar, hemos recogido numerosas preconcepciones que tocan desde la caída de graves a las fuerzas inerciales. Pero, con el subtítulo mencionado, queremos resaltar que existe una coherencia global de este conjunto de preconcepciones que se apoyan las unas a las otras. Así, por ejemplo, la creencia de que los cuerpos más pesados caen más aprisa no es sólo el resultado de observaciones comunes generalizadas acríticamente, sino que puede entenderse también como una implicación de la supuesta relación entre fuerza y veloci-

dad; cuanto mayor es el peso (fuerza) mayor será la velocidad de caída. Del mismo modo, la creencia de que un satélite artificial está sometido además de a la atracción gravitatoria terrestre a una fuerza centrífuga, «produciéndose un equilibrio entre ambas», puede entenderse como otra implicación de la asociación que muchos alumnos establecen entre fuerza y movimiento, y más concretamente de la idea de que los cuerpos se mueven siempre en la dirección de la fuerza que actúa sobre ellos: si el satélite no se precipita hacia la Tierra, es porque «otra fuerza compensa a la gravitatoria».

Así pues, es precisamente la coherencia global de las preconcepciones de Mecánica uno de los factores que mejor puede explicar su persistencia y, más aún, la imposibilidad de cambios conceptuales puntuales, centrados en una preconcepción particular (Domènech et al. 1989). El desplazamiento permanente de esta visión coherente exige pues que la construcción de las ideas centrales de la mecánica newtoniana se realice en un marco también global y coherente y, sobre todo, mediante una nueva forma de aproximarse a la realidad, a través del planteamiento de situaciones problemáticas (cuestionamiento sistemático de lo aparente, análisis críticos de resultados, búsqueda de coherencia global, etc.) propio del trabajo científico (Gil y Carrascosa 1985, 1990).

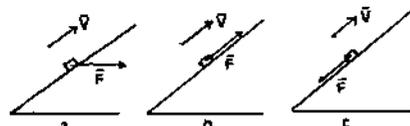
La estructura seguida en cada una de las cuestiones ha consistido en dar en primer lugar el enunciado para, a continuación, indicar las referencias (entendiendo por ello no necesariamente el trabajo original en donde apareció, sino algunas de las publicaciones en donde es posible localizar a la misma u otras similares) y, finalmente, los comentarios respecto a la cuestión (incluyendo algunos resultados de su aplicación cuando éstos se conozcan).

Hemos intentado, como ya se ha dicho, reagrupar dichas cuestiones en una serie de epígrafes que hacen referencia a distintas concepciones alternativas o bien a aspectos diferentes de una misma concepción. No obstante, conviene tener en cuenta que la mayor parte de las veces se trata de aspectos muy relacionados, por lo que la distribución de las cuestiones no está exenta de una cierta dosis de arbitrariedad. Pese a ello, hemos creído preferible este agrupamiento a una presentación completamente desestructurada del conjunto de las cuestiones que, por otra parte, podría hacer pensar que las preconcepciones son ideas sueltas, en contra de lo establecido por diversas investigaciones como las realizadas por Engel y Driver (1986), que han mostrado su estructuración en auténticos «marcos conceptuales alternativos», dotados de

una cierta coherencia, etc. De este modo se puede obtener, además, una primera idea de cuáles son las concepciones más problemáticas o, al menos, las más estudiadas.

1. El movimiento tiene lugar en la dirección de la fuerza y debe haber una fuerza en la dirección del movimiento.

1.1. Un cuerpo es lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar cuál de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende.

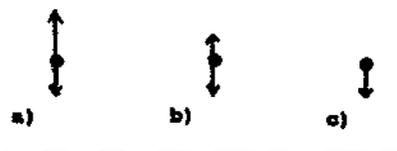


Referencias: Carrascosa (1982, 1987), Hierrezuelo y Montero (1989), Calatayud et al. (1988).

Comentarios: La preconcepción de fuerza que poseen los alumnos les lleva a relacionar ésta con la velocidad. Así, en los movimientos «forzados», éstos se explican gracias a la «fuerza que se le comunicó al cuerpo inicialmente», la cual es la responsable de dicho movimiento, aunque «se va gastando» poco a poco hasta que finalmente se para. Esta idea lleva a que muchos alumnos señalen como correcto el esquema *b)*. No obstante, otros alumnos, principalmente los de niveles superiores, afirman que el esquema correcto es el *a)*, argumentando que la «fuerza que impulsa el cuerpo hacia arriba se compone con la fuerza peso, y de ahí que dé esa resultante». A continuación exponemos algunos resultados obtenidos con esta cuestión.

Curso	N	% de respuestas erróneas
2º BUP	196	69,7
3º BUP	213	61,5
COU	181	54,7
1º Magisterio	145	71,7
2º Químicas	140	68,6

1.2. Se lanza un cuerpo desde el suelo verticalmente hacia arriba. Considerando nulo el rozamiento, señala con una cruz cuál de los siguientes esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo poco antes de que éste alcance su máxima altura.



Referencias: Clement (1982), Sebastián (1984), Acevedo et al. (1989), Hierrezuelo y Montero (1989), Gil et al. (1991).

Comentarios: Se trata de una cuestión en donde se hacen razonamientos similares a la anterior del plano inclinado. Una gran parte de los alumnos piensa que al lanzar el cuerpo se le comunica una fuerza. En este caso, esa fuerza extra se emplearía en vencer a la fuerza peso, y se iría gastando conforme el cuerpo fuera subiendo. Para algunos alumnos dicha fuerza se haría cero en el instante en que alcanzara la máxima altura y entonces el cuerpo bajaría debido al peso. También hay otros que piensan que en ese momento lo que ocurre es que la fuerza «ascendente» ha llegado a igualarse con la fuerza peso y ello hace que inmediatamente comience a bajar. El primer razonamiento es algo más elaborado que el segundo (de hecho abunda más entre los alumnos más mayores), pues en él se admite implícitamente la existencia de una fuerza resultante de sentido contrario a la velocidad. En cualquier caso, los alumnos suelen defender sus ideas con bastante apasionamiento ya que están bastante seguros de su validez. Los porcentajes de respuestas incorrectas a esta cuestión cuando ha sido ensayada por nosotros superaron en todos los casos —desde EGB hasta segundo de Químicas— el 70%

Por otra parte también nos hemos encontrado, al analizar las respuestas de los alumnos, con algunos casos que interesa destacar. Así por ejemplo, algunos alumnos dibujan tres fuerzas: «la que se le dio al lanzarlo», el peso del cuerpo y la fuerza, de la gravedad. Se trata de una idea según la cual el peso y la fuerza de la gravedad serían dos fuerzas distintas. Un alumno lo explicaba así:

«Para que el cuerpo ascienda necesita una fuerza al principio, que le provoque una aceleración, el cuerpo va frenando por su propio peso y por la fuerza de la gravedad.»

Otro hecho de interés fue encontrarnos con alumnos en los que la relación directa que establecen entre fuerza y velocidad les lleva a componer entre sí estas magnitudes, diciendo que el cuerpo asciende mientras que su velocidad sea mayor que el peso. El comparar magnitudes distintas no es infrecuente tampoco en otros casos y la mayoría de profesores se habrán percatado alguna vez de este problema. Se trata de un error metodoló-

gico al que conviene prestar la debida atención.

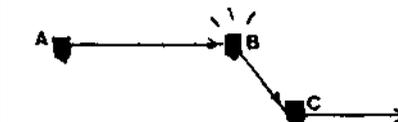
1.3. Una nave espacial se mueve en el espacio intergaláctico (lejos de cualquier interacción), desde un punto A a otro punto B, con los motores apagados. En el punto B, el piloto conecta los motores durante unos pocos segundos y los desconecta en el punto C, tal y como se indica en la figura. Dibuja la posible trayectoria de la nave entre el punto B y el C, y también la que sigue después del punto C.



Referencias: Clement (1982).

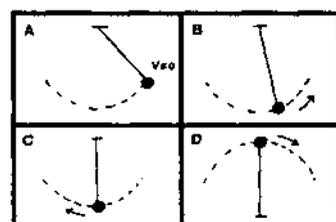
Comentarios: En esta cuestión, la idea alternativa de fuerza que estamos comentando lleva a muchos alumnos a dibujar una línea horizontal después del punto C, pensando que al parar otra vez los motores, la nave vuelve a su dirección original.

La cuestión fue pasada entre un total de 168 estudiantes de primer año en la universidad, en un curso de Física para ingenieros, en Massachusetts. Según el autor, el 62% de los alumnos contestaron erróneamente, dibujando el siguiente esquema:



Dichos alumnos identifican la velocidad con que se mueve la nave con «la fuerza que lleva la nave» y la componen con la fuerza ejercida por los motores. En el momento en que éstos se desconectan, queda sólo la primera, «debida al movimiento», con lo que la nave sigue entonces una trayectoria paralela a la inicial.

1.4. En las figuras siguientes se muestran cuatro situaciones diferentes en las que se encuentra la bolita de un péndulo. Dibujar las fuerzas que actúan sobre la misma y su resultante, en cada caso.

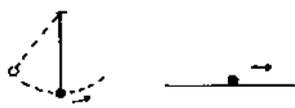


Referencias: Viennot (1979).

Comentarios: Se trata de establecer el porcentaje de alumnos que utilizan la idea de fuerza proporcional a la velocidad, según la posición de la bolita del péndulo.

Los resultados que se comentan a continuación proceden de 60 estudiantes franceses de Ciencias de primer año de facultad. Los errores más frecuentes (además del de no considerar la tensión del hilo) consisten en señalar que en el esquema A la fuerza es nula, en dibujar una fuerza extra con la misma dirección y sentido que la velocidad en los esquemas B, C y D, y en dibujar la fuerza centrífuga en el D. La fuerza extra es la fuerza «de la bola», que puede asimilarse con el «impetu» o «impulso» que lleva la bola en movimiento. El porcentaje de respuestas erróneas aumenta desde la situación A hasta la situación D, donde es casi del 50%.

1.5. Dibujar las fuerzas reales y su resultante que en cada una de las siguientes situaciones actúan sobre la bola. (La flecha indica en cada caso el sentido de movimiento en el instante representado. El rozamiento se considera nulo).



péndulo simple plano horizontal

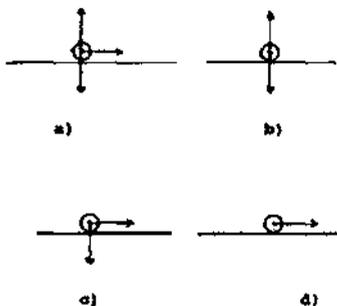


péndulo cónico tiro oblicuo

Referencias: Carrascosa (1987), Acevedo et al. (1989), Hierrezuelo y Montero (1989).

Comentarios: En cada una de las situaciones anteriores, la asociación entre fuerza y movimiento conduce a dibujar fuerzas en el sentido del movimiento.

1.6. Se lanza una bola hacia la derecha por una superficie horizontal. Considerando nulo el rozamiento, señala cuál de los siguientes esquemas representa correctamente las fuerzas que actúan sobre la bola poco después de haber sido lanzada:



Comentarios: Mediante esta cuestión puede ponerse de manifiesto la existencia de dos ideas alternativas: al objeto, se le comunica una fuerza al lanzarlo y la superficie, inanimada y en reposo, no ejerce ninguna fuerza sobre el objeto. Al estar descritas las principales posibilidades, es posible investigar por cuál de ellas se decantan mayoritariamente los alumnos de distintos niveles.

Nota: Otras cuestiones de esta selección en las que aparece la asociación entre dirección del movimiento y dirección de la fuerza son, por ejemplo, las 2.2, 2.3, 5.2, 5.3, 5.4 y 7.7.

2. Las fuerzas inerciales como exigencia de la preconcepción según la cual todo cuerpo se mueve siempre en la misma dirección que la fuerza resultante que actúa sobre el mismo.

2.1. Un satélite gira alrededor de la Tierra con movimiento circular y uniforme, con lo que sobre él actuarán las siguientes fuerzas reales (señalar con una cruz la respuesta correcta):

- a) fuerza de atracción gravitatoria,
- b) gravitatoria y la centrífuga,
- c) centrípeta y la centrífuga,
- d) gravitatoria, la centrífuga y la centrípeta,
- e) otra respuesta (especificar).

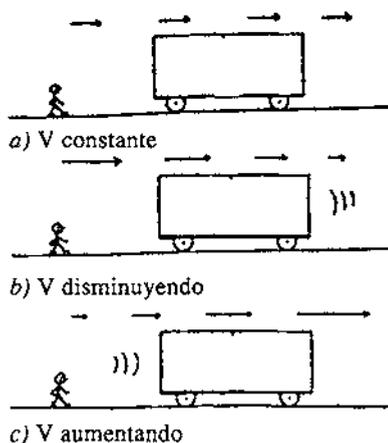
Referencias: Carrascosa y Gil (1985).

Comentarios: Para muchos alumnos, si la fuerza resultante sobre el satélite (en el sistema considerado) fuese dirigida hacia la Tierra, éste debería precipitarse hacia abajo y chocar con ella. Si no lo hace (como de hecho ocurre), es interpretado gracias a la fuerza centrífuga que tira del satélite hacia afuera equilibrando a las que tiran de él hacia el centro de la Tierra. Esto les lleva a no señalar la propuesta correcta a). Además, algunos piensan en la fuerza centrípeta como un tipo más de interacción, lo que les conduce a señalar la c) o la d) como proposiciones correctas.

El porcentaje de respuestas erróneas a esta cuestión cuando la hemos pasado entre alumnos de COU y del CAP ha sido mayor del 70%

2.2. Un péndulo se encuentra suspendido del techo de un vagón de tren. Imagínate que te encuentras parado(a) en el andén, pero que puedes ver lo que ocurre dentro del vagón.

Dibuja la posición correcta del péndulo en los distintos casos, así como las fuerzas que actúan sobre la bola del mismo.

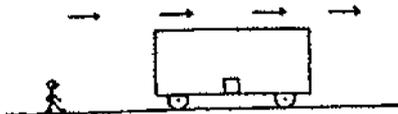


Comentarios: En los tres casos, se puede considerar que las únicas fuerzas que actúan sobre la bola del péndulo son la tensión del hilo y el peso. En la primera situación, se puede pensar en ambas fuerzas en la vertical, del mismo valor y con distinto sentido, siendo por tanto nula la fuerza resultante. No obstante, algunos alumnos dibujan una tercera fuerza en el sentido del movimiento. En la segunda, el péndulo se encontraría desplazado a la derecha, la fuerza resultante estaría sobre la horizontal y dirigida hacia la izquierda. Sin embargo a muchos alumnos les cuesta admitir que la fuerza resultante sobre la bola vaya hacia la izquierda y ésta se encuentre a la derecha de la vertical, por lo que inventan una fuerza extra hacia la derecha, que explique la posición adelantada de la bola. Análogas consideraciones se pueden hacer respecto al tercer caso.

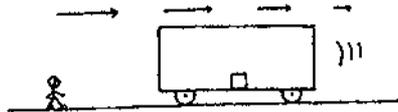
2.3. Un paquete se encuentra descansando sobre el suelo de un vagón de tren que se está moviendo hacia la derecha. Imagínate que te encuentras parado en el andén pero que puedes ver lo que ocurre dentro del vagón.

Dibuja las fuerzas que en tu opinión estarían actuando sobre el paquete en

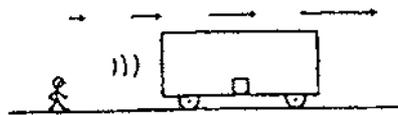
cada caso, indicando a qué se debe cada una de ellas, teniendo en cuenta que en ninguna de las situaciones descritas el paquete se desplaza de su sitio sobre el suelo del vagón.



a) V constante



b) V disminuyendo



c) V aumentando

Comentarios: Como sabemos, en el caso a, no habría ninguna fuerza horizontal; en el caso b, la fuerza horizontal resultante sobre el objeto sería la fuerza de rozamiento y estaría dirigida hacia la izquierda; mientras que, en el caso c, lo estaría hacia la derecha, justificándose de esta forma que se moviese con la misma aceleración que el vagón. Sin embargo, una idea que se detecta entre muchos alumnos es que las fuerzas de rozamiento siempre tienen sentido contrario al movimiento del objeto sobre el que actúan. Por otra parte les resulta difícil admitir que sobre el paquete del ejemplo pueda estar actuando una fuerza horizontal resultante y que éste no se mueva sobre la superficie en la que descansa. Todo ello llevaría a intentar justificar que el paquete no se mueva por el suelo del vagón, mediante la utilización de fuerzas adicionales. El caso a puede variarse disponiendo el objeto pegado a la pared de la izquierda con el fin de averiguar cuántos alumnos piensan erróneamente que en este caso la pared haría una fuerza hacia la derecha sobre dicho objeto. Naturalmente, la cuestión permite detectar también los olvidos en cuanto a dibujar la fuerza normal que el suelo del vagón hace sobre el objeto.

3. La ausencia de fuerzas en el movimiento de los cuerpos celestes y en otros casos como exigencia de la preconcepción según la cual los cuerpos se mueven en la misma dirección de las fuerzas.

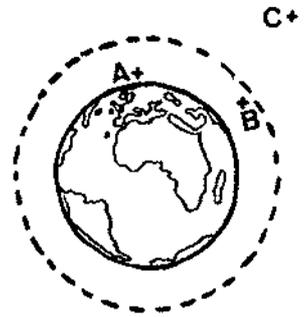
En la Física aristotélico-escolástica, la Tierra y los Cielos eran dos mundos claramente separados, cada uno con sus propias leyes. Se admitía así que los movimientos celestes eran circulares y eternos, sin necesidad de una fuerza que los mantuviese, al contrario de lo que ocurría en la Tierra, en donde todo cuerpo que se moviese alejándose de su lugar natural—precisaba de una fuerza exterior como agente causante de esa anomalía. Como puede verse en este apartado, en algunos casos parece como si dicha barrera entre Cielo y Tierra todavía no hubiera sido superada. Ello es coherente con la idea de fuerza como causa del movimiento, ya que, según ésta, no puede admitirse que, por ejemplo, sobre un satélite con movimiento circular uniforme alrededor de la Tierra, pueda estar actuando una fuerza resultante perpendicular y dirigida hacia el centro y, sin embargo, éste no se precipite hacia el suelo.

3.1. Según la ley de la Gravitación Universal, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde cierta altura sobre el suelo es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo. ¿Por qué no ocurre lo mismo con la Luna?

Referencias: Domènech et al. (1989).

Comentarios: Según los autores, que han ensayado esta cuestión con alumnos de Bachillerato (1º de BUP), universitarios (2º de Químicas) y profesores de Física y Química en activo, los porcentajes de respuestas incorrectas superaron en todos los casos el 60%, lo cual parece indicar la existencia de una clara asimetría entre la física aplicable a una piedra y la física aplicable a la Luna. De hecho, los mismos autores señalan (en el trabajo que incluye esta cuestión junto con otras similares) que más del 80% de los alumnos y del 30% de los profesores consideran expresamente que los principios de la Dinámica no son igualmente válidos en la Tierra (movimiento de una piedra lanzada horizontalmente desde lo alto de una montaña) que en los Cielos (movimiento de la Luna). En algunos casos aparece incluso como explicación a la cuestión que «la Luna no cae porque, donde está, la gravedad es cero o despreciable».

3.2. La figura adjunta representa (no a escala) el planeta Tierra, rodeado por la atmósfera. Señalar verdadero o falso, a continuación de cada una de las afirmaciones siguientes:



- a) La gravedad terrestre en B sería menor que en A.
- b) La gravedad terrestre en C sería cero.

Comentarios: La idea de que en el vacío no hay gravedad llevaría a calificar la opción b) como verdadera.

3.3. Supongamos que toda la atmósfera que rodea a la Tierra desapareciese totalmente, quedando el planeta rodeado por el vacío. En estas condiciones puede afirmarse que (señala la respuesta correcta):

El valor de la fuerza de la gravedad sobre la superficie terrestre:

- a) disminuiría, b) se haría cero, c) no cambiaría, d) no sé.

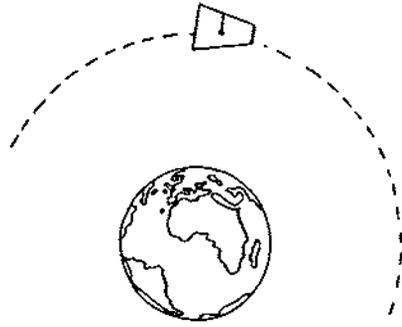
Referencias: Carrascosa (1987).

Comentarios: Cuando diseñamos esta cuestión ya sabíamos que para algunos alumnos la presencia del aire les parecía necesaria para la existencia de gravedad (identifican espacios siderales o el vacío con falta de gravedad). No obstante al pasarla entre alumnos de 2º de BUP, durante los primeros días de curso, nos llevamos la sorpresa de que dicha idea se encuentra muy extendida, como se desprende de los resultados obtenidos.

En efecto, de 286 alumnos de 2º de BUP encuestados, ninguno la dejó en blanco, y más del 70% señaló con una elevada seguridad a o b como propuesta correcta.

La mayor parte de estas cuestiones se presta a diseñar otras similares en las que el concepto involucrado es el mismo, pero el contexto es más o menos diferente, como ocurre con las siguientes.

3.4. La figura adjunta representa esquemáticamente (no a escala) un péndulo que cuelga del «techo» de una nave espacial que gira con movimiento circular uniforme alrededor de la Tierra. En estas condiciones podemos afirmar que el período de oscilación de dicho péndulo:



- a) Sería mayor que el que tendría en la superficie terrestre.
- b) Sería igual al que tendría en la superficie terrestre.
- c) Sería menor del que tendría en la superficie terrestre.
- d) Otra respuesta (especificar).

Comentarios: Se trata de una cuestión en donde pueden cometerse fundamentalmente dos tipos de errores. En primer lugar están aquéllos que afirman que la bola no oscilaría porque en una situación como la descrita la fuerza de la gravedad sería nula. En este caso, la respuesta es correcta aunque no así el razonamiento utilizado para llegar a la misma, ya que obviamente la gravedad no es nula y si la bola no oscila es simplemente porque al encontrarse en situación de «caída libre», no ejerce ninguna tensión sobre la cuerda que la sujeta al «techo» de la nave. También hay algunos alumnos que contestan que el período debería ser mayor, argumentando que el valor de la gravedad sería más pequeño que en la superficie. Se trata, evidentemente, de un razonamiento basado en la mera utilización de la expresión del período de un péndulo simple, en la que el valor de la aceleración de la gravedad aparece en el denominador.

3.5. En un laboratorio de Física, se ha construido una caja hermética de la cual se extrajo totalmente el aire, quedando el vacío en su interior. Entonces, mediante un dispositivo por control remoto, se lanza horizontalmente la bolita A. Se pide:



Dibujar una línea que represente la trayectoria que seguiría la bolita una vez lanzada.

Referencias: Pendiente de localizar.

Comentarios: La idea de que es preciso un medio para que exista gravedad, llevaría a los alumnos que la sustentasen a dibujar una línea horizontal como trayectoria seguida por la bolita. El diseño de más cuestiones similares, por ejemplo, con naves espaciales tripuladas que orbitan alrededor de la Tierra, astronautas sobre la Luna, etc. es sencillo y no insistiremos sobre ello. Únicamente queríamos señalar que sería la coherencia entre las respuestas (y explicaciones) dadas por los alumnos a diversas cuestiones de este tipo (y no a una sola), lo que nos estaría indicando que es bastante probable que dichas respuestas se deban a la existencia de la concepción alternativa analizada, que es la que lleva a contestar de esa manera y no de otra (lo cual puede aplicarse también para el resto de las concepciones alternativas).

3.6. Puesto que el aire está formado por partículas y la Tierra atrae a todos los cuerpos, estas partículas deberían terminar cayendo al suelo. ¿Por qué no ocurre así?

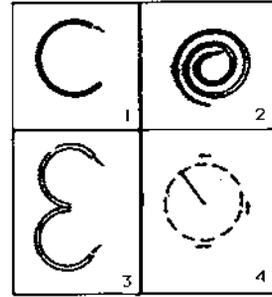
Referencias: Martínez Torregrosa (1991).

Comentarios: Después de varios cursos seguidos de Física en donde a los alumnos se les repite que «en ausencia de rozamiento todos los cuerpos, sea cual sea su masa, caen al suelo con la misma aceleración, cabría esperar que dicha idea hubiera sido correctamente asimilada. Mediante cuestiones como ésta se puede obtener información valiosa a este respecto y poner a prueba la solidez de los conocimientos adquiridos.

En efecto, a pesar de los posibles cursos recibidos, muchos alumnos en lugar de contestar aceptablemente la cuestión, o bien simplemente —tras estudiarla con detenimiento— señalar que no encuentran la solución, dan respuestas rápidas en las que utilizan ideas espontáneas que se creían ya superadas, aduciendo por ejemplo que los gases que forman el aire son muy ligeros o incluso que no pesan nada. En este último caso, se utiliza la idea de ausencia de fuerza (peso) para evitar la contradicción que supone pensar que algo pese y, sin que al parecer haya nada que le empuje hacia arriba, no acabe cayendo al suelo.

4. Los cuerpos que se mueven poseen fuerza: las fuerzas no son meras acciones externas sino que quedan en el objeto y van consumiéndose.

4.1. Los tres primeros esquemas que se exponen a continuación representan tubos curvados, que se encuentran fijos sobre una superficie horizontal de rozamiento despreciable. El cuarto es una bola atada a un hilo, que gira también sobre la misma superficie describiendo un movimiento circular.



Trazar la trayectoria que seguiría la bolita lanzada por un extremo, al salir del tubo por el otro (fig. 1, 2 y 3) o al cortar el hilo.

Referencias: Caramazza, McCloskey y Green (1981), McDermott (1983), Hierrezuelo y Montero (1989).

Comentarios: Para algunos alumnos, la forma curvilínea del tubo por donde se lanza la bolita afecta al movimiento posterior de ésta, imprimiéndole una fuerza que queda en la misma y que determina la forma de la trayectoria (análoga a la que sigue dentro del tubo) que describiría al abandonarlo.

La cuestión fue propuesta por Caramazza y otros a un total de 50 alumnos de escuela secundaria, con los resultados que se exponen a continuación:



4.2. Un objeto de masa m circula con una velocidad de 5 m/s, mientras que otro de masa $(3/4)m$ lo hace a 6 m/s. ¿Cuál de los dos posee más fuerza?

- a) El A
- b) El B
- c) Otra respuesta.

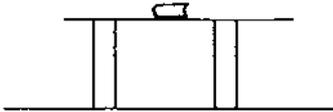
Referencias: Carrascosa (1982, 1987).

Comentarios: La idea de que los objetos en movimiento poseen fuerza (lo que recuerda a la teoría del ímpetus), y la relación que se establece entre ésta y la velocidad o la cantidad de movimiento, lleva a contestar erróneamente la cues-

tión y a no señalar que en ningún caso los objetos «poseen fuerza». Cuando se ha propuesto esta cuestión, hemos podido comprobar cómo muchos alumnos intentan contestarla rápidamente mediante una fórmula, poniendo la aceleración como V/t y multiplicando por m . Otros contestan simplemente, que «no se puede saber, ya que haría falta la aceleración».

El 73% de 114 alumnos encuestados de COU, y el 48% de 195 profesores de enseñanza media en activo contestaron erróneamente la cuestión.

4.3. Dibujar las flechas que indiquen las fuerzas que actúan sobre el objeto situado encima de la mesa:



Referencias: Clement (1982).

Comentarios: Para muchos alumnos, los objetos en reposo no pueden ejercer fuerzas. Esta idea les lleva a contestar la cuestión, dibujando únicamente la fuerza peso. Una respuesta «típica», recogida por Clement, es la siguiente:

«La fuerza de la gravedad es la única que actúa sobre el objeto. La mesa se encuentra en el camino del objeto, por eso éste no se mueve.»

En el trabajo de Clement, no se citan resultados numéricos de esta cuestión. No obstante nosotros hemos ensayado una cuestión similar entre un total de 286 alumnos de 2º de BUP, a comienzos del curso 86-87, antes por lo tanto de que se les impartiese la materia correspondiente, y obtuvimos que el 56% de los alumnos corroboraban explícitamente la afirmación de que la mesa no ejercía fuerza alguna sobre el objeto. Por otra parte, la gran mayoría de los alumnos encuestados señalan que la fuerza que hace el objeto sobre la mesa es el peso del objeto. Se trata de una identificación más profunda de lo que a primera vista pueda parecer y que consiste no solamente en pensar que el valor de la fuerza normal que el objeto hace sobre la superficie coincide con el valor de la fuerza peso (cosa que para este caso particular es cierta, pero que, obviamente, no ocurre así siempre), sino en que además dicha fuerza es precisamente la fuerza peso. Esta idea se mantiene, como hemos podido constatar, en alumnos de cursos superiores.

Nota: Otras cuestiones de esta selección en donde puede aparecer la idea de que los cuerpos que se mueven poseen fuerza son, por ejemplo, las 1.3, 1.4, 2.2, 2.3, 5.2, 5.3 y 5.4.

5. Un movimiento rectilíneo uniforme exige una fuerza constante y cuanto mayor es la velocidad mayor ha de ser la fuerza (y viceversa).

5.1. En la pantalla de un ordenador, hay un punto que representa un objeto que se encuentra inicialmente en reposo sobre una superficie sin rozamiento. Al apretar una tecla, se hace una fuerza constante paralela a la superficie sobre dicho punto. El ordenador está programado para que, en cuanto se deje de apretar la tecla, cese de actuar la fuerza.

Indica qué harías para conseguir que el punto se moviese continuamente con una misma velocidad:

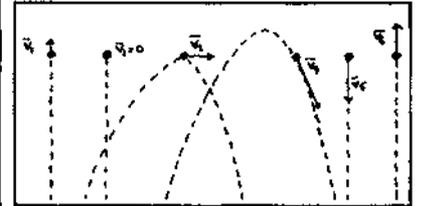
- a) Apretar la tecla y soltar inmediatamente.
- b) Mantener apretada la tecla durante todo el tiempo.
- c) Apretar la tecla de modo intermitente (cada cierto tiempo).

Referencias: Ogborn (1983).

Comentarios: Esta cuestión ha sido diseñada a raíz de la lectura de un trabajo presentado por Ogborn en un congreso celebrado en La Londe (Francia). No obstante, en ese trabajo, no aparece la cuestión como tal sino que trata fundamentalmente (y éste es su principal interés) en torno a la utilización de programas informáticos adecuados con los que sacar a la luz determinadas preconcepciones. Los alumnos, manipulando el teclado de un ordenador, pueden entrar en un universo en el que puede o no haber gravedad (o rozamiento, o ambas cosas a la vez). De esta forma, un objeto se puede mover en la pantalla en condiciones de rozamiento nulo y sufrir fuerzas instantáneas pulsando determinadas teclas. Ello permite a los alumnos «ver» cómo funcionan algunas ideas que pueden tener respecto al movimiento. Así, por ejemplo, si el objeto se mueve horizontalmente, los alumnos tienen ocasión de constatar y visualizar (pulsando la tecla que provoca una fuerza perpendicular) que el movimiento no siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza ejercida, etc.

Tal y como hemos propuesto aquí la cuestión, la idea de que los objetos en movimiento pueden almacenar e ir empleando (en dicho movimiento) la fuerza que se les comunicó llevaría a no considerar la propuesta a, como la correcta.

5.2. Un malabarista juega con seis bolas idénticas. En un cierto instante, las seis bolas se encuentran en el aire a la misma altura, siguiendo las trayectorias mostradas en la figura. (También se muestran los vectores velocidad en ese instante). ¿Las fuerzas que actúan sobre las bolas en el instante indicado iguales o diferentes? Justificar la respuesta. (Considerar nula la resistencia con el aire). ¿Son iguales las energías potenciales?

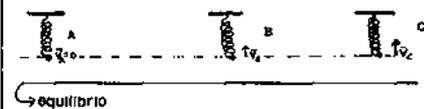


Referencias: Viennot (1979, 1989).

Comentarios: La relación que los alumnos establecen entre fuerza y velocidad les lleva a contestar que serían diferentes. No ocurre así con la energía potencial.

La cuestión fue pasada a 311 alumnos en total (29 de último año de escuela secundaria y el resto universitarios de diferentes países, (Francia, Bélgica y Gran Bretaña), con el resultado de que el 39% de los alumnos de secundaria señalaban que las fuerzas serían iguales. Este porcentaje aumentaba hasta aproximadamente el 50% entre los alumnos universitarios. En cambio, respecto a la energía potencial, el porcentaje de respuestas correctas fue en general superior al 80%.

5.3. Tres muelles elásticos idénticos se encuentran suspendidos del techo por uno de sus extremos. Del otro extremo pende una masa M igual en los tres casos. Los tres muelles oscilan respecto a la posición de equilibrio, con diferentes amplitudes (el rozamiento se considera despreciable). En un instante dado, cuando la masa que cuelga del muelle A alcanza su máxima altura (con velocidad $V_A = 0$) las del B y C se encuentran a la misma altura pero todavía subiendo, con distintas velocidades V_B y V_C , tal y como se muestra en la figura adjunta.



Posición de equilibrio

Razonar si la fuerza total que actúa sobre M será la misma o distinta en los tres muelles. Ídem respecto a la energía potencial

Referencias: Viennot (1979, 1989).

Comentarios: Se trata de una cuestión de la misma naturaleza que la anterior. Ésta fue pasada también a estudiantes de escuela secundaria y universitarios de varios países (un total de 398), con resultados similares. En ella, los alumnos que relacionan la fuerza con la velocidad suelen contestar señalando que en la situación A la fuerza resultante vale cero y en las dos restantes es mayor en la C, en lugar de indicar que en los tres casos tiene el mismo valor.

5.4. 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 en seco, 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.

Referencias: Carrascosa (1987), Carrascosa, Fernández, Gil y Orozco (1991), Gil, Carrascosa, Furió y Martínez Torregrosa (1991).

Comentarios: La preconcepción que relaciona la fuerza con la velocidad lleva a pensar que, conforme disminuye la velocidad del bloque, ha de disminuir también la fuerza que éste hace sobre el muelle, tal y como se refleja en el siguiente comentario (realizado por un alumno de Bachillerato) que reproducimos a título de ejemplo:

«La fuerza irá disminuyendo porque la velocidad con que ha sido lanzado el bloque también va disminuyendo y la fuerza que le hemos transmitido nosotros al bloque también va disminuyendo.»

Esta cuestión ha sido ensayada por nosotros, con alumnos de distintos niveles educativos, desde 7º de Educación General Básica (13 años), previamente a la enseñanza de la Dinámica, hasta estudiantes universitarios, como parte de un cuestionario amplio que abarca diversos

aspectos básicos de Física, Química, Biología y Geología y que fue pasado con el fin de investigar las diferencias existentes en la evolución de conocidas preconcepciones científicas (Carrascosa et al. 1991). Uno de los índices que se manejaban en ese trabajo era la seguridad media en las respuestas erróneas. Cada alumno, además de contestar cada cuestión, tenía que expresar la confianza en que su respuesta era correcta, mediante una nota comprendida entre cero y diez (0 mínima seguridad, 10 máxima seguridad). Al analizar los cuestionarios, se contabilizaba como respuesta errónea segura únicamente la que estando equivocada era calificada con una nota igual o mayor a 8. En los resultados que se exponen a continuación se dan los porcentajes de respuestas erróneas sobre el total de respuestas (% E) y los porcentajes de respuestas erróneas seguras sobre el total de respuestas erróneas (% Es) para la cuestión que estamos tratando.

Curso	N	%E	%Es
7º EGB	110	82	51
2º BUP	72	90	40
3º BUP	62	97	48
COU	62	93	63
2º Químicas	82	88	56

La comparación de los resultados anteriores y otros de otras cuestiones similares de Mecánica con los obtenidos en otros campos mostraba cómo la idea de fuerza como causa del movimiento es quizás la más sólida y persistente de todas ellas.

6. Cuanto más pesa un cuerpo (mayor fuerza) más aprisa cae (mayor velocidad), pero «no todos los cuerpos pesan».

6.1. Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuánto tardará otro de doble masa que se deja caer desde la misma altura?

Referencias: Carrascosa (1982, 1987), Gil et al. (1991).

Comentarios: Se trata de una cuestión en donde el problema de la caída de graves se aborda de manera directa. La idea de que existe una relación inversamente proporcional entre la masa y la duración de la caída llevaría a contestar medio segundo.

Naturalmente, como respuestas correctas se pueden admitir muchas: desde los

que dicen simplemente, el mismo tiempo hasta los que afirman que distinto tiempo a causa del rozamiento, o casi el mismo tiempo, etc. Lo importante pues no es que los alumnos piensen que puede emplear menos tiempo, sino que crean que tardará justamente la mitad.

En general los alumnos se limitan a contestar de forma escueta, no obstante, algunos incluyen breves explicaciones a sus respuestas. Así algunos justifican su creencia de que caerá en la mitad de tiempo, señalando que «al tener doble peso ha de caer con doble velocidad». Por otra parte nos hemos encontrado con que muchos de los que contestaban la cuestión acertadamente, diciendo que tardaría el mismo tiempo, lo hacían simplemente por razonamientos «operativistas» como:

«Porque en $e = e_0 + v_0 \cdot t + 1/2 a \cdot t^2$ no aparece para nada la masa».

Tampoco es infrecuente encontrarse con afirmaciones del tipo:

«Si están en el vacío tardará igual pero si no es así, tardará medio segundo.»

Todo ello revela que las formas características de la metodología del sentido común: -ausencia de una reflexión previa, existencia del «formulismo» y el «operativismo», aprendizaje puramente memorístico, etc.- no han sido superadas, y en consecuencia no se ha producido un aprendizaje verdaderamente significativo.

Los resultados obtenidos mediante esta cuestión (Carrascosa 1987) oscilan entre casi un 40% de respuestas equivocadas en alumnos de segundo de Químicas y un 70% en alumnos de segundo de BUP.

6.2. Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de seis metros. ¿Qué altura alcanzará otro objeto lanzado con la misma velocidad si su masa es la mitad que la del primero?

Referencias: Carrascosa (1982, 1987), Gil et al. (1991).

Comentarios: La arraigada creencia de muchos alumnos acerca de que la masa influye de manera inversamente proporcional en la duración de la caída libre de los cuerpos les lleva a contestar que la altura alcanzada será de 12 m. La cuestión es similar a la anterior, sólo que aquí la variable considerada es la altura alcanzada. Muchos alumnos piensan que -dado que la masa es justamente la mitad y se lanza con la misma velocidad inicial- dicha masa ha de alcanzar justo el

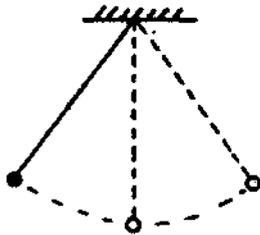
doble de altura.

La cuestión ha sido propuesta a numerosos alumnos de distintos niveles. Por supuesto, las respuestas que indicaban «distinta altura, dependiendo del rozamiento» o similares, se contabilizaron como correctas, es decir, tan sólo se consideraron erróneas aquellas respuestas en donde se afirmaba escuetamente que la altura sería precisamente de 12 metros.

En este caso, la proporción de respuestas incorrectas suele ser mayor que con la cuestión anterior en donde se abordaba el mismo problema pero de manera directa. Es muy posible que ello se deba a que reiteradamente se insiste en que «todos los cuerpos cuando se dejan caer desde la misma altura, en ausencia de rozamiento, tardan el mismo tiempo en llegar al suelo», y no se insiste suficientemente en la cuestión simétrica de la «subida».

6.3. En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar si el período del péndulo (tiempo que tarda en dar una oscilación completa) depende o no de cada uno de los siguientes factores:

- a) la longitud del hilo,
- b) la masa del péndulo,
- c) el valor de la gravedad.



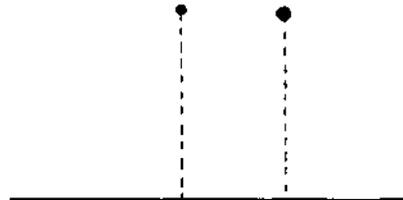
Referencias: Carrascosa (1982, 1987), Carrascosa y Gil (1985).

Comentarios: Se trata de una cuestión indirecta sobre la influencia de la masa en la duración de la caída. Los apartados a) y c) figuran en la cuestión como meros distractores (que no se tuvieron en cuenta), ya que en ocasiones esta cuestión se utilizó junto con las dos anteriores y no se quería que se viese una relación demasiado directa entre las mismas.

En este caso, los porcentajes de respuestas erróneas respecto a la cuestión directa son todavía mayores, revelando que todavía no ha tenido lugar un cambio conceptual efectivo. La relación que algunos alumnos asumen entre el peso de

la bolita y la duración de la caída les lleva a afirmar que el período T del péndulo ha de depender del valor de la masa, sin dejar apenas respuestas en blanco. Cuando se ensayó esta cuestión, los porcentajes de error oscilaron entre el 80 % correspondiente a alumnos de BUP y el 65% en 2º de Químicas (Carrascosa y Gil 1985).

6.4. Dos bolas de 1 Kg y de 2 Kg respectivamente se dejan caer simultáneamente desde la misma altura (no hay rozamiento). Señalar mediante cruces la posición de cada una de ellas tomando intervalos iguales de tiempo.



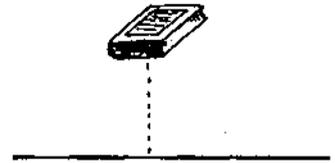
Referencias: Seminario de Física y Química (1986).

Comentarios: Se trata de la cuestión directa sobre caída de graves pero planteada de otra manera. El error conceptual de asignar a la masa mayor una mayor velocidad de caída llevaría a dibujar cruces para la masa de 2 Kg que irían por delante de las de la otra masa. Además se puede poner aquí de manifiesto si los alumnos comprenden el concepto de aceleración dibujando las cruces cada vez más distanciadas o no. Como es lógico, la respuesta se ha considerado correcta cuando éstos han dibujado parejas de cruces al mismo nivel y cada una más distanciada de la anterior.

Esta cuestión fue pasada entre un total de 234 alumnos de 2º de BUP correspondientes a nueve grupos de alumnos de siete institutos de enseñanza media de la Comunidad Valenciana, al final del curso 85-86, con el resultado siguiente: el 40% de los alumnos especificó que la masa no influía, pero tan sólo el 5% de los mismos dibujó correctamente las posiciones. El porcentaje de alumnos que contestaron bien la cuestión completa fue inferior al 3%.

6.5. Se coloca una pequeña hoja de papel sobre la tapa de un libro y se dejan caer desde una cierta altura sobre el suelo, tal y como se muestra en la figura, observándose que ambos llegan al mismo tiempo (es decir que la hoja de papel sigue estando sobre el libro cuando éste choca con el

suelo). Dar una explicación de este fenómeno:

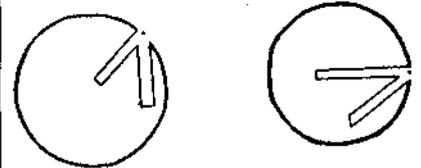


Referencias: Carrascosa (1987).

Comentarios: Se trata de una cuestión que se puede proponer antes o después de hablar del tema de caída de graves. Cuando se ha utilizado en 2º de BUP, antes de abordar el estudio del movimiento de caída de los cuerpos, algunos alumnos se refieren a que la hoja no se separa del libro porque el aire que éste va desplazando la empuja, justificando así que no se quede atrás como «debería» ocurrir dado su menor peso.

La idea recuerda en cierto modo al argumento utilizado por Aristóteles para justificar el movimiento forzado o violento de los cuerpos en contra de su lugar natural, cuando afirmaba que era el propio aire desplazado el que les empujaba.

6.6. Supongamos que en la Tierra se excavan dos túneles y dejáramos una piedra justo en la boca de los mismos, tal y como viene representado en las figuras adjuntas.



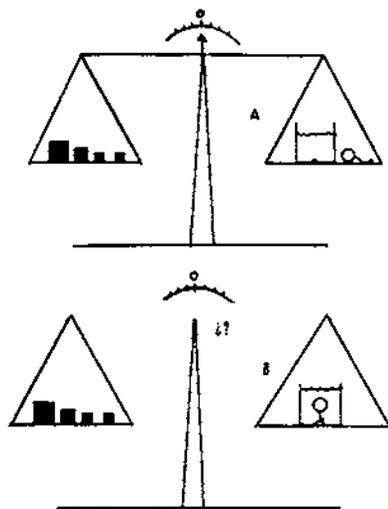
Completar ambos esquemas dibujando la trayectoria que seguiría la piedra en cada caso, una vez que se suelta.

Referencias: Nussbaum y Novak (1976), Hierrezuelo y Montero (1989).

Comentarios: Algunos alumnos mantienen que existen un arriba y abajo absolutos y extrapolan las experiencias cotidianas sobre objetos «pesados» que caen sobre la superficie de la Tierra, a los casos representados, pensando que la piedra no se mueve en ninguno de los dos hacia el centro del planeta. Estas ideas se dan sobre todo en los alumnos más pequeños.

6.7. En la figura A se representa una balanza en la que en el platillo de la derecha hay un recipiente con agua y a su lado una bola de madera. La balanza está

en equilibrio debido a las pesas que se han colocado en el platillo de la izquierda.



Se coge la bola y, con cuidado de no derramar nada de agua, se introduce en el recipiente, enganchándola al fondo como se muestra en la figura B. ¿Qué le ocurre entonces a la aguja de la balanza? (Señala la respuesta que te parezca correcta).

- a) Se quedará en el centro.
- b) Se desviará un poco a la derecha.
- c) Se desviará un poco a la izquierda.

Referencias: Martínez Torregrosa et al. (1991)

Comentarios: Algunos alumnos piensan que por el hecho de sumergir los cuerpos en un líquido pesan menos (identificando el peso con la fuerza resultante hacia abajo que resulta de componer el peso y el empuje), siendo difícil además, para ellos, comprender que la balanza no se desequilibra, dado que la bola de madera dentro del agua «no pesa», ya que tiende a ir hacia arriba al sumergirla tirando del gancho del fondo del vaso, olvidando aplicar aquí el principio de acción y reacción, según el cual, si bien sobre la bola de madera se ejerce una fuerza hacia arriba, otra igual y de sentido contrario se ejerce sobre el agua hacia abajo. La cuestión se puede alargar preguntando a los alumnos qué ocurriría a la aguja de la balanza si se rompiese el hilo que mantiene a la bola sujeta al fondo.

7. Al cesar la fuerza cesa el movimiento. Los cuerpos tienden al reposo. El reposo es natural, el movimiento ha de ser explicado.

7.1. Un objeto se deja caer desde un globo que está elevándose en el aire a una

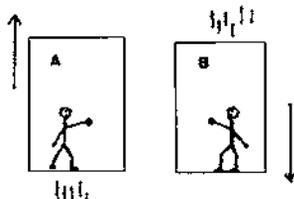
cierta altura sobre el suelo. ¿De qué factores dependerá el tiempo que dicho objeto tarde en llegar a tierra? (Considerar despreciable el rozamiento con el aire).



Comentarios: Los posibles errores conceptuales que pueden aparecer en esta cuestión se deben, naturalmente, a pensar, por una parte, que la masa influiría en la duración de la caída, y, por otra, que cabe la posibilidad también de que no se incluya la velocidad del globo respecto de tierra en el momento de soltar el objeto, entre los factores que influirán en el tiempo que tardará en llegar al suelo. Dicha exclusión revelaría la creencia de que dado que, al soltar el objeto, el globo o la mano ya no siguen empujándolo, éste comenzaría a descender inmediatamente (cosa cierta respecto al globo pero no respecto al suelo), ya que la asociación que los alumnos establecen entre la fuerza y la velocidad les lleva a pensar que «si cesa la fuerza ascendente cesa el movimiento».

Otro factor que puede estar influyendo aquí es la tendencia de algunos alumnos a pensar en ellos mismos como sistema de referencia privilegiado, colocándose en el lugar del hipotético pasajero (donde ocurre el evento), con lo cual difícilmente pueden concebir que el objeto suba si ellos lo que hacen es soltarlo.

7.2. El ascensor A asciende con una velocidad constante de 5m/s. El ascensor B baja con una velocidad también constante de 5m/s. En el instante en que se cruzan, ambos pasajeros dejan caer de su mano, que se encuentra a la misma altura sobre el suelo de cada ascensor, un objeto idéntico. Señalar cuál de las siguientes proposiciones, respecto al tiempo que tarda cada objeto en chocar con el suelo del ascensor respectivo, te parece mas correcta:



- a) tiempo en el A mayor que tiempo en el B
- b) tiempo en el A igual que tiempo en el B
- c) tiempo en el A menor que tiempo en el B

Comentarios: Se trata de una cuestión similar, en parte, a la anterior. Los alumnos piensan que el objeto que se deja caer en el ascensor que sube llegará antes al suelo que el otro que se deja caer en el ascensor que baja, precisamente porque según ellos la velocidad inicial del objeto sería cero en cualquier caso (ya que al dejarlo caer «no se le hace ninguna fuerza»).

Resulta relativamente sencillo diseñar otras cuestiones parecidas con las que se puedan poner de manifiesto estas mismas ideas. La siguiente es uno de los posibles ejemplos.

7.3. Tres alumnos van corriendo como se indica en la figura adjunta. En un momento determinado, el que va primero lanza una bola hacia arriba. ¿De qué dependerá que la recoja uno u otro?



Referencias: Carrascosa 1987, Hierrezuelo y Montero 1989.

Comentarios: Naturalmente existen varias respuestas aceptables. Puede contestarse, por ejemplo, que, si los tres corredores llevan movimientos uniformes y la pelota es lanzada verticalmente, siempre la recogería el primero. También puede decirse que, si el primero se retrasa una vez lanzada y el segundo acelera, podría recogerla este último, etc.

El problema implícito en la cuestión es darse cuenta de que existe una componente horizontal de la velocidad que no se anula cuando se lanza la pelota. De hecho, este problema 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 movía alrededor del Sol, cuando dejásemos caer una piedra desde lo alto de una torre, debería de caer retrasada respecto a su base. Siempre que esta cuestión ha sido ensayada, incluso con profesores de Física y Química en activo o en formación, el porcentaje de respuestas incorrectas en las que se señalaba que dependería de la altura alcanzada, de la separación entre los corredores o de la masa de la bola, superó en todos los casos el 90%. Sin embargo, cuando se plantea una cuestión a todas luces equivalente pero más familiar como:

En el centro de un vagón de tren que se desplaza con movimiento rectilíneo y uniforme a gran velocidad, una persona da un salto hacia arriba. Razonar en donde caerá.

las respuestas son casi todas correctas.

El mismo fenómeno se suele producir también al utilizar otras cuestiones para detectar posibles concepciones alternativas. Cuando parece que el problema ha sido resuelto, basta proponer cuestiones en donde se plantee el mismo problema pero en contextos diferentes para que se vuelva a cometer el mismo tipo de error conceptual. Ello es un índice más de lo que hemos denominado «metodología del sentido común», de la tendencia a contestar precipitadamente, sin una reflexión previa, sin ningún análisis crítico, sin búsqueda de coherencia etc., que hace que ante situaciones novedosas, que no se reconocen, se revierta al pensamiento espontáneo y aparezcan de nuevo ideas que se creían ya superadas.

En McCloskey (1983), se expone una cuestión similar pero con un formato diferente, ya que allí se propone como una acción a llevar a cabo realmente por los alumnos en la clase, a los que se les pide que mientras van corriendo dejen caer un objeto que ha de caer en un punto dado del suelo, observándose que una gran parte de ellos lo dejan caer justo cuando pasan por encima del blanco. Otra cuestión muy parecida a la que puede recurrirse es la que exponemos a continuación, en donde los alumnos olvidan a menudo que el avión no pierde el movimiento de la Tierra.

7.4. La figura adjunta representa el planeta Tierra en movimiento de rotación alrededor de su eje. Un avión sale de la ciudad A y viaja hasta la ciudad B, siguiendo la trayectoria punteada. A continuación efectúa el viaje de vuelta, siguiendo el mismo camino pero en sentido inverso, y a la misma velocidad. Podemos afirmar en estas condiciones que el tiempo empleado por dicho avión será:

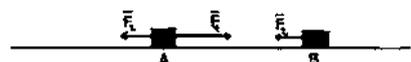


- a) Menor a la ida que a la vuelta.
- b) Igual a la ida que a la vuelta.
- c) Mayor a la ida que a la vuelta.

Comentarios: Mediante esta cuestión es posible poner de manifiesto el carácter absoluto que algunos alumnos atribuyen al movimiento.

En este caso consistiría en pasar por alto el hecho de que el avión tenga la misma velocidad inicial de giro que la Tierra y pensar que, una vez que éste se encuentra en el aire, el movimiento de giro de la Tierra puede hacer que el tiempo empleado en ir de un sitio a otro aumente o disminuya según se haga en sentido igual o contrario (respectivamente) al giro de la Tierra. Algunos llegan incluso a afirmar que podría viajar sin más que mantenerse en el aire flotando y quieto, esperando a que el punto de destino deseado pase por debajo de nosotros.

7.5. Sobre un objeto inicialmente en reposo en el punto A de una superficie horizontal y sin rozamientos, comienzan a actuar dos fuerzas F_1 y F_2 , tal y como se indica en la figura. La fuerza F_1 vale justamente el doble que la F_2 . El objeto alcanza el punto B a los 10 segundos de empezar a moverse. Justo en ese instante cesa la F_1 y queda sólo la F_2 que sigue actuando durante otros 10 segundos más y entonces cesa también. Se pide:



Señalar lo más aproximadamente posible (sin hacer cálculos), por medio de una X, la posición donde se encontrará el objeto en el instante en que cesa F_2 .

Referencias: Carrascosa (1987).

Comentarios: La relación entre fuerza y movimiento manejada por muchos de los alumnos hace que éstos piensen que en el punto B, al cesar F_1 , y quedar la otra fuerza hacia la izquierda, el objeto ha de moverse inmediatamente hacia la izquierda. En este caso, la respuesta podría ser que se encontraría a la izquierda de B y más concretamente en el punto A de donde partió. El enunciado, evidentemente, puede ser simplificado para proponerse a alumnos de cursos elementales. Así, por ejemplo, la pregunta en este caso podría ser: ¿Qué le ocurriría al objeto en el instante en que cesa F_1 ?

7.6. Las observaciones más comunes muestran que, para que un cuerpo permanezca en movimiento, es necesario que una fuerza esté actuando sobre él, de forma que, si cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones deben interpretarse correctamente diciendo que las fuerzas son la causa de:

Referencias: Carrascosa (1982).

Comentarios: Se trata de una cuestión directa para detectar si el concepto de fuerza como causa del cambio de movimiento ha sido o no correctamente aprendido. Nótese la expresión *deben de interpretarse correctamente*, introducida para llamar la atención sobre la necesidad de una reflexión previa antes de contestar. La idea alternativa, consistente en relacionar la fuerza con la velocidad y la ausencia de dicha reflexión previa, llevaría a señalar que las fuerzas son la causa del movimiento en lugar de la causa de los cambios de movimiento.

Esta cuestión fue ensayada con alumnos desde 2º de BUP a 2º de Químicas con unos porcentajes de error siempre superiores al 70%.

7.7. Señalar «verdadero» o «falso» a continuación de las siguientes proposiciones:

- a) Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la resultante es nula, deberá estar en reposo.
- b) El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- c) Si en un instante dado la velocidad de un cuerpo es nula, la fuerza resultante en ese mismo instante también ha de serlo.

Referencias: Carrascosa (1982, 1987), Carrascosa y Gil (1985).

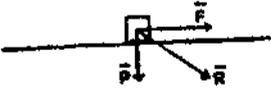
Comentarios: La preconcepción de fuerza como causa del movimiento lleva a contestar «verdadero» en las tres propuestas. Cuando se pasó la cuestión, se consideraron como respuestas correctas únicamente aquellas en las que se calificaban las tres como falsas. Por otra parte no podemos dejar de mencionar el hecho de que algunos alumnos, aun habiendo contestado correctamente a alguna proposición, dan a continuación explicaciones que revelan no sólo la persistencia de la preconcepción, sino también interesantes matices sobre la misma. Así, por ejemplo, para la segunda proposición, algunos que contestaron «falso», a continuación lo justificaron con razonamientos como el siguiente (reproducimos textualmente el de un alumno de 2º de BUP):

«Falso. Así, por ejemplo, si yo tengo un libro sobre una mesa y presiono sobre él, éste no se mueve en la dirección de la fuerza resultante porque le estorba la mesa.»

Explicaciones como la anterior, se dieron entre alumnos de tercero e incluso de COU. En efecto, un alumno de este último curso utilizaba un esquema gráfico

para justificar su rechazo a la proposición, que como puede verse iba acompañado de un conocido error conceptual:

«No ocurre siempre. Por ejemplo, en el caso de un cuerpo lanzado por una superficie tenemos»:



El mismo alumno contestó también correctamente —indicando «falso»— a la tercera propuesta, sin embargo ilustró su respuesta con el siguiente ejemplo:

«Sobre un cuerpo en reposo en una superficie, puedo hacer una fuerza y él, sin embargo, permanecer en reposo.»

Las respuestas anteriores y también otras parecidas muestran que para muchos alumnos (incluso de COU) los objetos inanimados en reposo no ejercen fuerzas (como alguno dijo: «Si están quietos no pueden hacer nada.»). Esta idea es coherente con la preconcepción de fuerza, que relaciona a ésta con la velocidad, y puede explicar, en parte, por qué los alumnos se olvidan tan a menudo de dibujar vectores representativos de cierto tipo de fuerzas, como la tensión de un hilo, la fuerza que hace un plano sobre un objeto que está sobre él, etc.

Cuando esta cuestión se propuso a alumnos de 2º de Químicas y profesores de EEMM, los porcentajes de error, en al menos una de las propuestas, fueron siempre superiores al 60%

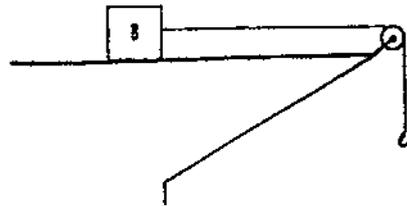
7.8. Desde lo alto de una torre situada sobre un terreno muy extenso y plano, un cañón dispara horizontalmente una bala. Justo en el mismo instante otra bala exactamente igual es dejada caer, también desde lo alto de la torre. Considerando despreciable el rozamiento con el aire, resultaría entonces que (señalar la propuesta correcta):

- a) Las dos balas llegarían a la vez al suelo.
- b) La disparada por el cañón llegaría antes que la otra.
- c) La disparada por el cañón llegaría después que la otra.

Comentarios: Algunos alumnos piensan de entrada, que la bala disparada por el cañón permanece durante más tiempo en el aire que la que se deja caer desde el mismo punto y al mismo tiempo. La razón hay que buscarla en que para ellos el «impulso» (en el sentido de fuerza inicial con que se lanza) que lleva la bala «se opone» a que ésta caiga, cosa que

evidentemente no ocurre con la otra que empieza a caer en cuanto se suelta «sin ningún impedimento». Es decir, la diferencia entre los dos movimientos es que en uno la fuerza que sostenía a la bala sobre la torre y que evitaba que dicha bala cayese, ya no existe. Mientras que en el otro, hay una «fuerza horizontal» que en parte cumple dicho papel haciendo que ésta se mantenga durante más tiempo en el aire. Evidentemente, las variaciones sobre esta última cuestión son múltiples y fáciles de idear por cada profesor.

7.9. En la figura adjunta, el bloque B se encuentra inicialmente en reposo. Se supone que el rozamiento es nulo y la masa de la cuerda, polea y gancho pueden considerarse despreciables. En estas condiciones, señalar con una cruz qué ocurriría al colgar del gancho con mucho cuidado otro bloque A:



- a) B comenzaría a moverse sólo si la masa de A fuese mayor que la de B.
- b) Para que B comience a moverse basta con que la masa de A tenga el mismo valor que la masa de B.
- c) Otra respuesta (especificar).

Referencias: Carrascosa (1987).

Comentarios: Como es sabido, el concepto newtoniano de fuerza permite afirmar que, por muy pequeña que sea la fuerza resultante que actúe sobre un cuerpo en reposo respecto a un cierto sistema de referencia (sea cual sea el valor de la masa de dicho cuerpo), éste se pondrá en movimiento. Sin embargo esto no es intuitivo para los alumnos. Para muchos de ellos, el peso se opone al movimiento de un objeto inicialmente en reposo, que se concibe como el estado natural de los cuerpos, incluso cuando no haya rozamiento. Es precisamente esta idea junto con hábitos metodológicos inadecuados, como la tendencia a contestar precipitadamente, etc., lo que lleva a señalar como correcta la opción a) o b) y no razonar que por muy pequeña que fuese la masa de A, B comenzaría a moverse, obviamente con tanta más aceleración cuanto mayor fuese la masa de A.

En el curso 85-86, en un grupo de 25 profesores en formación (CAP) y otro de 32 profesores en activo, se obtuvo un porcentaje de respuestas erróneas que en los primeros fue del 66% y en los segundos del 62%

8. Incomprensión de las interacciones: «el cuerpo más rápido hace más fuerza sobre el más lento», «las fuerzas se transmiten de un cuerpo a otro», «los objetos inertes no pueden hacer fuerza»...

8.1. En la figura adjunta se muestran dos cuerpos que se encuentran sobre una superficie plana sin rozamiento. Ambos se hallan inicialmente en reposo, el uno junto al otro. Se hace entonces una fuerza F sobre el objeto A, tal y como se muestra en la figura. Señalar a continuación cuál de las siguientes propuestas es la correcta:



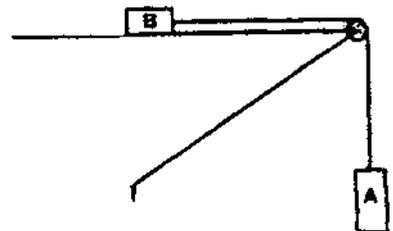
- a) La fuerza que actuará sobre el B será menor que F.
- b) La fuerza que actuara sobre el B será igual a F.
- c) La fuerza que actuará sobre el B será mayor que F.

Referencias: Alsina et al. (1980), Hierrezuelo y Montero (1989).

Comentarios: Con esta cuestión se trata de poner de manifiesto la idea de que los objetos transmiten las fuerzas sin cambiarlas. Ésta aparece frecuentemente cuando se utilizan sistemas con cuerdas, poleas, etc. En esta cuestión llevaría a contestar que la fuerza sobre B ha de valer lo mismo que la fuerza sobre A.

8.2. En el esquema de la figura, el bloque B desliza sobre la superficie de la mesa. La fuerza F que actúa sobre él es ejercida por:

- a) el bloque A,
- b) la Tierra,
- c) el cable,
- d) la mesa,
- e) la polea.

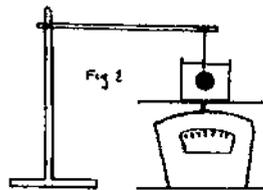
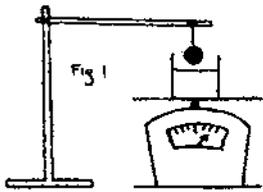


Referencias: Iowi (1984).

Comentarios: Se trata de una cuestión análoga a la anterior. Iowi la utilizó con 258 alumnos de «secondary school» en Nigeria. Una gran parte de los alumnos señaló como correcta la opción *a*, asignando a la cuerda el papel de simple transmisor de la fuerza ejercida por A, pensando que, como la cuerda sola no haría ninguna fuerza sobre B, tampoco es ella la que «de verdad» la hace en la situación descrita.

De los 258 alumnos encuestados, el 77 % se decantó por la opción *a*.

8.3. En la figura 1 se observa un soporte del que por medio de un hilo cuelga un trozo de hierro. A su lado se encuentra una balanza en cuyo platillo hemos dispuesto un recipiente con agua. Si se introduce el trozo de hierro con mucho cuidado dentro del agua (sin derramar nada) de forma que quede tal y como muestra la figura 2, observaremos que:



- a) La balanza señala más peso que antes.
- b) La balanza señala el mismo peso que antes.
- c) La balanza señala menos peso que antes.

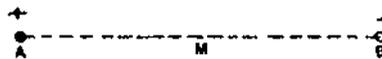
Referencias: Kaminski y Viennot (1989).

Comentarios: Aunque, tras estudiar el principio de Arquímedes, la mayoría de los alumnos aceptan que el cuerpo sumergido aparentemente pesa menos debido al empuje, pocos de ellos tienen en cuenta que ese empuje del líquido sobre el cuerpo lleva asociada una fuerza hacia abajo igual y de sentido contrario que, en la situación descrita, hace que el fiel de la balanza se desvíe indicando claramente un aumento de la fuerza ejercida sobre el plato.

Se trata de una cuestión que fácilmente se puede llevar a la práctica en cualquier laboratorio y, aunque no disponemos todavía de resultados, hemos de señalar que, cuando fue utilizada por las autoras en un seminario para profesores, la mayor parte de los asistentes al mismo contestaron afirmando que el fiel de la balanza no se movería.

Esta cuestión se encuentra también descrita en un trabajo publicado por Viennot en el número 716 de la revista francesa *Bulletin de l'Union des Physiciens* (pp. 951-971).

8.4. Se disponen dos pequeñas esferas de igual masa la una frente a la otra, inicialmente en reposo. Ambas se cargan eléctricamente con cargas de distinto signo. Sabiendo que la carga de A vale justo el doble que la carga de B, señala con una cruz dónde crees que se encontrarán ambas cuando se dejen en libertad:

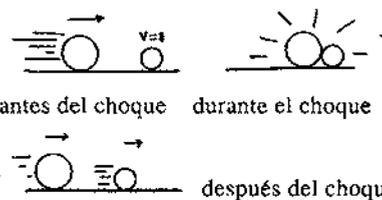


- a) En el punto medio M.
- b) A la derecha de M.
- c) A la izquierda de M.

Referencias: Carrascosa (1987).

Comentarios: Algunos alumnos creen que al ser la carga de A el doble que la de B el objeto B será atraído con el doble de fuerza y que, por lo tanto, se tendrían que encontrar a la izquierda del punto medio M.

8.5. Una bola de acero se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal (rozamiento despreciable). Otra bola mayor, también de acero, se dirige frontalmente hacia ella y chocan. Se pide dibujar sendos vectores representativos de las fuerzas que actúan sobre cada bola: antes del choque, durante el choque y después del choque.

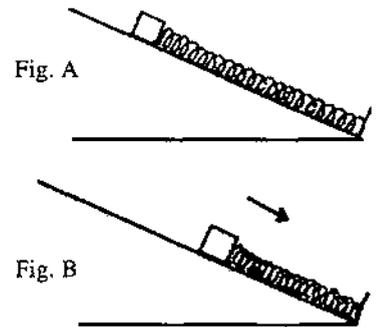


Referencias: Carrascosa (1987).

Comentarios: En esta cuestión, pueden ponerse de manifiesto varios aspectos de la idea alternativa de fuerza utilizada por

los alumnos. Por una parte, estaría dibujar una fuerza horizontal hacia la derecha sobre la bola en movimiento, antes del choque, por otra, dibujar vectores de diferente tamaño en el momento del choque, pensando que la fuerza que hace la bola más grande ha de ser mayor que la que hace la más pequeña (por ser de mayor masa y por estar en movimiento -asociación fuerza/movimiento- y la otra no). También pueden aparecer fuerzas horizontales después del choque. Finalmente, señalaremos que otro error común sería no dibujar la fuerza que la superficie hace sobre la bola (y si en cambio la fuerza peso), pensando que las superficies de objetos inanimados en reposo no ejercen fuerzas.

8.6. En un plano inclinado sin rozamientos, descansa un muelle elástico. Abandonamos una masa *m* junto al extremo libre del muelle tal y como se indica en la figura A, de modo que éste empieza a ser comprimido y la masa se mueve hacia abajo por el plano (fig. B). Se pide:



- a) Dibujar por medio de vectores las fuerzas paralelas al plano que actuarán sobre la masa *m*, mientras está bajando.
- b) Indicar qué fuerza hace el cuerpo sobre el muelle en un instante dado de la bajada y cómo se calcularía.

Comentarios: En este caso la incorrecta comprensión del principio de acción y reacción lleva a los alumnos a indicar erróneamente que la fuerza que hace el cuerpo sobre el muelle es precisamente la componente tangencial del peso $mg \sin \alpha$, pensando que si el cuerpo ejerciese sobre el muelle la misma fuerza que éste sobre el cuerpo (Kx , donde K es la constante elástica del muelle y x el valor absoluto de la elongación), dicho cuerpo no podría estar moviéndose hacia abajo.

La cuestión puede evidentemente simplificarse refiriéndonos, por ejemplo, a una masa que se cuelga de un muelle suspendido del techo por uno de sus extremos. En este caso es frecuente encontrar (incluso en algún libro de texto) la idea errónea de que la fuerza que hace el cuerpo sobre el resorte es el peso y que,

por tanto, dicho peso, junto con la fuerza que hace el resorte sobre el muelle, forman una pareja de acción y reacción.

8.7. Para poder mover el bloque de la figura adjunta, que se encuentra en reposo sobre el suelo, es preciso hacer una fuerza paralela a la superficie de como mínimo 400 N.

Un alumno empuja dicho bloque con una fuerza constante de 500 N, tal y como se muestra en la figura adjunta. Podemos afirmar entonces que la fuerza que hará el bloque sobre el alumno mientras éste le siga empujando será:



- a) menor de 500 N,
b) igual a 500 N,
c) mayor de 500 N.

Referencias: Hierrezuelo y Montero (1989).

Comentarios: Para muchos alumnos es difícil aceptar que, si el bloque se mueve, ambas fuerzas, la que hace el alumno sobre el bloque y la que hace el bloque sobre el alumno, puedan ser iguales, ya que consideran el equilibrio de las dos fuerzas sin separarlas aplicándolas a cuerpos diferentes. La idea subyacente es que si el bloque, que estaba en reposo, se empieza a mover, el alumno habrá tenido que hacer sobre él una fuerza mayor que la que ejerce éste sobre el alumno. (También hay alumnos que piensan que el bloque no ejerce ninguna fuerza sobre el alumno y que si a éste le cuesta moverlo es a causa de su peso y del rozamiento). Ello revela un aprendizaje superficial del concepto de interacción. Si se quiere incidir en el problema, es preciso dedicar el tiempo necesario a que los alumnos dibujen o señalen, siempre que sea posible en cada caso, las principales interacciones que se dan y las parejas de fuerzas correspondientes. Los ejemplos a utilizar son múltiples. Además de los aquí expuestos, podemos citar: el caso de un carro arrastrado por un caballo (los alumnos no entienden que el carro pueda moverse si la fuerza que hace el carro sobre el caballo vale lo mismo que la que hace el caballo sobre el carro, ya que en este caso, según ellos, deberían de anularse); el de un pequeño objeto como una tiza cayendo hacia la Tierra (en este caso no entienden que; si las dos fuerzas presentes en la interacción tiza-Tierra son iguales y de sentidos contrarios, la tiza caiga y sin embargo no se observe «subir» a la Tierra); o el caso

de dos equipos que juegan a ver quién arrastra a quién tirando de los extremos de una cuerda de masa despreciable, en donde piensan que el que arrastra al otro es porque tira de la cuerda con mayor fuerza etc.

Referencias bibliográficas citadas en esta selección

Acevedo, J.A. et al., 1989. Sobre las concepciones en Dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), pp. 27-34.

Alsina, J., Aranda, J., Estradé, S. y Fornells, M., 1980. *Física de COU*. (Teide: Barcelona).

Azcárate, C., 1990. *La velocidad: introducción al concepto de derivada*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

Calatayud, M. L., Carbonell, L. F. et al., 1988. *La construcción de las ciencias físico-químicas*. Libro del alumno y libro del profesor. (Librería Nau llibres: Valencia).

Cañal, P., 1990. *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.

Caramazza, A., McCloskey, M. y Green, B., 1981. Naive beliefs in «sophisticated» subjects: misconceptions about trajectories of objects, *Cognition*, 9, pp. 117-123.

Carrascosa, J., 1982. *Los errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias*. Tesis de licenciatura. Universitat de València.

Carrascosa, J., 1983. Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica, *Enseñanza de las Ciencias* 1 (1), pp. 63-65.

Carrascosa, J., 1985. Errores conceptuales en la enseñanza de la Física y la Química: una revisión bibliográfica, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), pp. 230-234.

Carrascosa, J., 1987. *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis doctoral. (Servei de Publicacions de la Universitat de València: València).

Carrascosa, J. y Gil, D., 1985. La metodología de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciències, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), pp. 113-120.

Carrascosa, J., Fernández, I., Gil, D. y Orozco, A., 1991. Diferencias en la evolución de las preconcepciones en distintos dominios científicos. *Revista de O Ensino de Física*. Brasil. Vol. 13, pp.104-134.

Clement, J., 1982. Students preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50 (1).

Domènec, J., L., Gil, D., Martínez Torregrosa, J., 1989. La reconstrucción de la síntesis newtoniana como requisito para un cambio conceptual efectivo en mecánica, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra. Comunicación. III Congreso. Tomo 1.

Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A., 1989. *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. (MEC, Morata: Madrid).

Engel, E. y Driver, R., 1986. A study of consistency in the use of students conceptual frameworks across different task contexts, *Science Education*, 70 (4), pp. 473-496.

Furió, C., 1986. Metodología utilizada en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 73-77.

Gené, A., 1986. *Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada*. Tesis doctoral. (Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona: Barcelona).

Gil, D. y Carrascosa, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7 (3), pp. 231-236.

Gil, D. y Carrascosa, J., 1990. What to do about science misconceptions?, *Science Education*, 74 (4).

Gil, D., Carrascosa, J. Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J., 1991. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona).

Giordan, A., 1982. *La enseñanza de las ciencias*. (Pablo del Río: Madrid).

Hierrezuelo, J. y Montero, A., 1989. *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. (Laia / MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía).

Iowi, U., 1984. Misconceptions in physics amongst Nigerian secondary school students, *Physics Education*, 19, pp. 279-285.

- Jiménez, M.P., 1987. Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), pp. 165-167.
- Jiménez, M.P., 1989. *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Kaminski, W., 1989. *Optique elementaire en classe de quatrieme: raisons et impact sur les maitres d'une maquette d'enseignement*. Tesis doctoral. Universidad París 7.
- Kaminski, W. y Viennot, L., 1989. Optique elementaire. Taller desarrollado en el III Congreso Internacional sobre la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, tomo 2, p. 230.
- Llorens, J., A., 1987. *Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia. Departamento: Química-Física.
- Martínez-Torregrosa, J., Alonso, S., M., et al., 1991. *La búsqueda de la unidad de la naturaleza*. Enseñanza Secundaria Obligatoria. Segundo curso. Materiales para el profesor. (Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura, Educació i Ciència: Valencia).
- Martínez-Torregrosa, J., 1991. Materiales para el CAP. (Documento interno). Universidad de Alicante.
- McCloskey, M., 1983. Intuitive physics, *Scientific American*, 248, pp. 122-130.
- McDermott, L.C., 1984 (1983?). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, Julio, pp. 24-34.
- Nussbaum, J. y Novak, J., 1976. An assessment of children's concepts of the earth utilizing structured interviews, *Science Education*, 60 (4), pp. 535-550.
- Ogborn, J., 1983. Difficulties of dynamics and some uses for microcomputers, en actas de La Londe, *Researchs on Physics Education*. (Editions du CNRS: París).
- Perales y Nievas, 1988. Nociones de los alumnos sobre conceptos de Óptica geométrica, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1).
- Sanmartí, 1990. *Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y de compuesto*. Tesis doctoral. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Sebastià, J., M., 1984. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), pp. 161-169.
- Seminario de Física y Química, 1986. *Experimentación de un nuevo currículum de Física y Química en alumnos de segundo de BUP*. Conselleria de Cultura Educació i Ciència. Valencia.
- Solbes, J., 1986. *La introducción de los conceptos básicos de física moderna*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad de Valencia.
- Varela, P. et al., 1989. Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), pp. 292-295.
- Viennot, L., 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1 (2), pp. 205-221.
- Viennot, L., 1976. *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis doctoral. Universidad París 7. (Publicada en 1979 por Herman: París).
- Viennot, L., 1989. L'enseignement des sciences physiques object de recherche, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, pp. 899-910.
- Viennot, L., 1989. La didáctica en la enseñanza superior, ¿para qué?, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), pp. 3-13.

TESIS DIDÁCTICAS

LOS TRABAJOS PRÁCTICOS DE FÍSICA BÁSICA EN LABORATORIOS DE FACULTADES DE CIENCIAS

Tesis de Tercer Ciclo

Autora: Julia Salinas Lanciotti
Directores: Daniel Gil Pérez y Leonor Colombo de Cudmani. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València.

La memoria recoge el desarrollo alcanzado hasta el momento en una investigación educativa centrada en las características y funciones de las prácticas de Física en los laboratorios de los ciclos básicos universitarios, y ha sido presentada como Trabajo de Investigación en el Programa de Tercer Ciclo en Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Valencia.

Se espera que la investigación conduzca

a la elaboración de una propuesta, fundamentada teóricamente y contrastada empíricamente, que aparezca como una alternativa posible para superar las limitaciones detectadas en los trabajos prácticos habitualmente realizados.

El haber elegido el problema de los trabajos prácticos de Física en los laboratorios de ciclos básicos universitarios como tema central de esta investigación es el emergente de una convergencia entre la