
Cómo detectar preconcepciones en una clase de física. El caso de la esfera que desciende por un plano inclinado

How to detect misconceptions in a class of physics. The case of a sphere that descends through by inclined plane

PÉREZ RODRÍGUEZ, A.L. ; SUERO LÓPEZ, M.I.; GIL LLINÁS, J.

Grupo Orión de Investigación del Área de Óptica de la Universidad de Extremadura, España, <http://www.unex.es/~optica>
aluis@unex.es

Resumen

En este trabajo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas encaminadas a detectar una nueva preconcepción relacionada con el fenómeno de la caída de una esfera homogénea que se encuentra inicialmente en reposo en lo alto de un plano inclinado y que desciende a lo largo del mismo de dos maneras diferentes: deslizándose sin rotar y rotando sin deslizar. Dichos resultados muestran que más del 50% de los alumnos del último año de la licenciatura de Ciencias Físicas no son capaces de realizar razonamientos correctos que le lleven a predicciones acertadas acerca de en cuál de los dos casos llegará el centro de la esfera con más velocidad al punto más bajo del plano. Se pone de manifiesto una vez más la falta de significatividad de los aprendizajes realizados a lo largo de la instrucción y la importancia de insistir sobre la necesidad de detectar las preconcepciones de nuestros alumnos y crearles conflictos cognitivos respecto a las mismas antes de empezar un nuevo proceso de enseñanza-aprendizaje, para tratar de conseguir aprendizajes significativos que les resulten realmente útiles.

Abstract

In this work, we present and analyze the results that have been obtained from tests to detect a new misconception, which is related with the phenomenon of the fall of a

homogeneous sphere. Initially, the sphere was located at the top of an inclined plane, and then it descended along it in two different ways: slipping without rotating and rotating without slipping. The data showed that more than 50% of the students in the last year of the Physics degree were not able to justify and predict in which of the two cases the centre of the sphere would arrive with more speed to the lowest point of the plane. Once again, the lack of meaning of the learning acquired during the instruction period as well as the necessity to detect preconceptions and make our students cognitive conflicts regarding those before starting a new teaching/learning process in order to achieve significant learning that they find really useful is evidenced.

INTRODUCCIÓN

Antes de iniciar un nuevo proceso de enseñanza-aprendizaje, si se pretende que éste sea verdaderamente eficaz, es necesario conocer las ideas previas y las preconcepciones que poseen los alumnos sobre los conceptos y los fenómenos relacionados con el tema en cuestión. Esta afirmación está profusamente documentada tanto desde un punto de vista psicológico (OSBORNE y WITTRICK, 1983; DRIVER, GUESNE y TIBERGHEN, 1989), como

desde el punto de vista de los profesores de física que investigan en el aula, ya sea sobre la enseñanza de la física en general (HIERREZUELO y MONTERO, 1989), como sobre partes específicas de la misma como la mecánica (GALILI y BAR, 1992; POZO y col., 1992), ideas sobre la luz y visión con alumnos de enseñanza secundaria (MARTÍNEZ TORREGROSA, OSUNA GARCÍA y VERDÚ CARBONELL, 1999; GALILI y HAZAN, 2000) o incluso con niños de enseñanza primaria (MENDOZA y LÓPEZ TOSADO, 2000), etc.

En un mismo alumno pueden (y suelen) coexistir dos tipos distintos de conocimientos sobre un mismo fenómeno (MONTANERO y col., 2001): el académico (más formal y científico) y el personal (informal e implícito, pero con mucha utilidad predictiva sobre hechos cotidianos) que en la mayoría de los casos no coinciden. La tarea del profesor consiste en averiguar las ideas previas de los alumnos y diseñar las actividades de la instrucción para que estas ideas se desarrollen evolucionando hacia las científicamente aceptadas. Esta modificación de las ideas es lo que se denomina cambio conceptual (POZO, 1989). Entender el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual supone confrontar, explícita y deliberadamente, ambos tipos de conocimientos a través de diversas técnicas y recursos didácticos, para hacerlos confluir en uno único que satisfaga todas las necesidades que satisfacían los dos previos por separados.

Toda esta transformación o cambio conceptual requiere, como punto de partida, la provocación de conflictos cognitivos a lo largo del proceso de instrucción (POZO, 1989). Conseguimos provocar un conflicto cognitivo en el momento en que el alumno comprueba que su teoría previa lleva a conclusiones insatisfactorias o a predicciones que no concuerdan con sus observaciones experimentales. Ahora bien, la condición más importante para que este conflicto genere un auténtico cambio conceptual es que, el alumno tome conciencia de sus ideas previas y reflexione sobre su forma de interpretar los fenómenos que están implicados en cada una de ellas y la posibilidad de modificar esa manera de interpretarlos, para obtener resultados más satisfactorios. Por eso, la verdadera responsabilidad de la evaluación procesual del profesor se centra en averiguar si el alumno ha llegado a esa toma de conciencia y, en caso contrario, qué ayuda requiere para mejorar su capacidad de reflexión (POZO, 1989).

En anteriores trabajos hemos comprobado que en un gran número de casos las ideas o concepciones previas de los alumnos no se modifican después de la enseñanza formal, tanto tratándose de temas relacionados con la dinámica (CALVO y col., 1992), como sobre el principio de acción y reacción (MONTANERO, PÉREZ y SUERO, 1995), estática (MONTANERO y col., 2002), sobre los conceptos de calor y temperatura (RUBIO y col., 1995), o de electricidad (SOLANO y col., 2002) y óptica (GIL y col., 2003). Debido a nuestra línea de investigación sobre el color y los modelos de visión de los colores hemos detectado preconcepciones sobre conceptos muy elementales acerca del color de forma “tradicional” a través de un test pasado presencialmente (SUERO y PÉREZ, 1999) o de forma interactiva a través de internet (SUERO y col., 2002). El porqué de esta persistencia se debe a que para los alumnos estas concepciones son verdades indiscutibles, están basadas en el sentido común, les dan seguridad y les facilitan la predicción y, consecuentemente, la toma de decisiones. Por estas razones son tan reacios a cambiarlas, tienen que estar seguros que los nuevos conceptos que las van a sustituir son más válidos que los que ellos han ido construyendo espontáneamente a lo largo de su vida y que tan buenos resultados les han dado hasta el momento (por eso subsisten). El profesor también pudiera en muchas ocasiones tener bastante responsabilidad en esta persistencia ya que, al no tener en cuenta estas ideas, no realiza actividades adecuadas encaminadas a ayudar al alumno a superarlas.

En este trabajo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas encaminadas a detectar una nueva preconcepción relacionada con un típico problema de dinámica.

Planteamiento del problema

En una clase de Fundamentos Físicos de Ingeniería, al comenzar a resolver el problema de la esfera que baja por un plano inclinado, bien deslizándose sin rozamiento o bien rodando sin deslizar, se planteó a los alumnos que predijeran en cuál de los dos casos llegaría la esfera (su centro, para concretar en un punto) con mayor velocidad al punto más bajo del plano inclinado. La respuesta obtenida por unanimidad fue que llegaría con más velocidad en el caso que la esfera rodara sin deslizar. El asombro fue general cuando al resolver el problema comprobamos que llegaría con más velocidad en el caso de deslizarse sin rozamiento ya que su “intuición” les había llevado a predecir lo contrario. Tal coincidencia en “visualizar” una respuesta incorrecta nos hizo pensar en la existencia de una preconcepción (una de cuyas características es la de estar muy extendidas) y, para detectarla y explicarla, confeccionamos el test que se recoge en el Anexo 1 y lo utilizamos como ejemplo de cómo detectar preconcepciones

con los alumnos del segundo ciclo de la Licenciatura de Física que cursaban la asignatura Didáctica de la Física.

El razonamiento correcto

Aunque este es un problema que es frecuentemente resuelto de manera analítica como ejercicio de clase (Anexo 2) y además existen estudios que explican muy detallada y rigurosamente otros aspectos del problema (BARBERO GARCÍA y GARCÍA CIFUENTES, 1999), en esta ocasión nos interesa recurrir a una forma cualitativa de resolverlo, en la que no interviene ningún tipo de fórmula ni de operaciones matemáticas, sino únicamente razonamientos de tipo conceptuales:

“Dado que, según el enunciado, en ninguno de los dos casos existe disipación de energía (en el caso primero porque no existe fuerza de rozamiento, y en el segundo porque, al rotar sin deslizar, en cada instante su punto de aplicación permanece en reposo (SERWAY-BEICHNER, 2002)) y que la pérdida de energía potencial de la situación de llegada con respecto a la de partida es la misma, en ambos casos la energía cinética que adquiere la esfera durante el descenso será la misma. Como cuando rueda parte de dicha energía se encuentra en forma de energía cinética de rotación, la energía cinética de traslación y, por tanto, la velocidad del centro de la esfera, será mayor cuando no rota y sólo se traslada”.

Es decir, la respuesta correcta a la primera pregunta es la opción a). Es evidente (aunque posteriormente, al ver algunas respuestas, hemos comprobado que no tanto como supusimos en un principio), que, al ser mayor la velocidad final de traslación en el caso de deslizamiento, la velocidad media del descenso en este caso es mayor que en el caso de la rotación y el tiempo que dura el descenso es menor. Es decir, la respuesta correcta a la segunda pregunta es también la opción a).

Sin embargo, probablemente debido a que no se ha conseguido una diferenciación progresiva adecuada entre los conceptos implicados, parece ser que nuestra intuición nos indica que la bola que llega rodando lleva “algo más” además de su movimiento de traslación y puede “hacernos más daño”..., de donde inconscientemente inducimos que lleva más velocidad, y esa es la predicción que aceptamos. Es decir, si no se realiza un razonamiento más reflexivo, podemos caer en una preconcepción que nos lleva a conclusiones incorrectas. En la actualidad se está trabajando mediante la técnica de entrevistas clínicas con la que hemos obtenido buenos resultados en ocasiones anteriores (MONTANERO y col., 2002) con el objetivo de establecer cuáles son las teorías implícitas con las que razonan nuestros alumnos que les llevan a dar estas respuestas. A modo de ejemplo, en el Anexo 3 se incluyen las justificaciones dadas por 3 de los alumnos a sus respuestas.

El razonamiento expresado crea el “conflicto cognitivo” en nuestros alumnos y los pone en disposición de aceptar un cambio conceptual y modificar su preconcepción por otro tipo de razonamiento, más explícito y elaborado y que le permita interpretar de manera más explicativa el fenómeno en cuestión y predecir de manera más acertada las observaciones realizadas.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan las respuestas dadas a este test por 31 alumnos del segundo ciclo de la licenciatura de física. En negrita se muestran las respuestas correctas. En la tabla 2 se recoge un resumen de los datos que aparecen en la tabla 1.

Lo primero que llama la atención es el distinto número de veces que es acertada cada una de las dos preguntas (7 frente a 9). Debido al diseño de la prueba, era de esperar que cada alumno contestara ambos ítems acertando o fallando los dos simultáneamente, ya que, de alguna manera ambos ítems son equivalentes: “*Cuando va más rápido tarda menos tiempo en llegar*”, sin embargo, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que esto no es así y aparecieron respuestas que expresaban razonamientos tan extraños como: “*Llega con más velocidad cuando rueda, ... pero tarda más tiempo en llegar*” y “*Llega con más velocidad cuando desliza, ... pero tarda más tiempo en llegar*”. Estas inesperadas respuestas parecen poner de manifiesto la existencia de dificultades en la comprensión de conceptos tan elementales como puede ser el de velocidad media. Este resultado es más

Tabla 1

	Ítem 1	Ítem2
1	c	c
2	a	a
3	c	c
4	b	b
5	c	c
6	c	a
7	c	a
8	a	a
9	c	b
10	c	c
11	a	a
12	a	b
13	c	c
14	e	e
15	c	c
16	c	c
17	a	a
18	c	c
19	a	a
20	d	d
21	b	b
22	c	c
23	c	c
24	c	c
25	b	c
26	b	b
27	c	b
28	c	c
29	c	a
30	a	a
31	b	b

Tabla 2

Ítem	Respuesta a	Respuesta b	Respuesta c	Respuesta d	Respuesta e
1	7	5	17	1	1
2	9	7	13	1	1

preocupante si se tiene en cuenta que no todos los 7 alumnos que acertaban la primera pregunta acertaban también la segunda (estaban incluidos en los 9), sino que solamente 6 acertaban simultáneamente las 2 preguntas, siendo 3 los que aciertan la segunda habiendo fallado la primera y 1 el que acierta la primera y falla la segunda. Además de estos 4 casos, aparecen otros 2 que afirman que: “en ambos casos llega con la misma velocidad....., pero que llega antes cuando rueda sin deslizar”; e incluso existe un caso más que lo que declara es que: “en ambos casos llega a la vez..... pero con más velocidad cuando rueda sin deslizar”. Todos estos casos, 7 en total, suponen un 23% de los alumnos consultados y nos hicieron sospechar de la existencia de otra preconcepción diferente a la buscada y relacionada, como ya hemos dicho, con el concepto de velocidad media. En la actualidad estamos intentando explicitar esta nueva preconcepción.

Volviendo al caso de la esfera que desciende por un plano inclinado, si analizamos las respuestas de los alumnos podemos observar que:

- a. Sólo seis alumnos contestan correctamente las dos cuestiones planteadas y responden que es en el caso de deslizar sin rozamiento cuando la esfera llega abajo con mayor velocidad y, consecuentemente, llega antes. Estos 6 alumnos suponen sólo el 19,4% sobre el total de los encuestados, lo que, teniendo en cuenta que están próximos a obtener su licenciatura en Ciencias Físicas, un porcentaje muy bajo y que pone de manifiesto la persistencia de las preconcepciones y la falta de significatividad de los aprendizajes realizados a lo largo de la instrucción.
- b. Doce alumnos opinan que con ambas formas de desplazarse tarda lo mismo y llega con la misma velocidad. Cuatro eligen como opciones las que indican que es rodando sin deslizar cuando es mayor la velocidad de llegada y cuando llega antes. Estos dieciséis alumnos (51,6% del total) contestan de manera consistente aunque errónea, no parecen tener los problemas con los conceptos relacionados con la velocidad media comentados antes, pero sí presentan la preconcepción que estamos intentando detectar.
- c) Los nueve alumnos restantes se reparten entre los 7 que parecen no tener claro el concepto de velocidad media y los que contestan eligiendo distractores como “depende de la relación entre la masa y el radio de la esfera”, aventuran una respuesta personal en la opción e), etc.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que más del 50% de los alumnos encuestados (16 de 31) consideran que cuando una esfera desciende por un plano inclinado rodando sin deslizar adquiere la misma o más velocidad de traslación que cuando lo hace deslizándose sin rozamiento.

Próximos a terminar la licenciatura de Ciencias Físicas la instrucción recibida por los alumnos no ha sido eficaz para combatir dicha preconcepción, no habiéndose conseguido aprendizajes suficientemente significativos que hayan logrado una diferenciación progresiva capaz de hacerlos discernir claramente (no a nivel de formulación matemática —que la mayoría manejan con soltura—, sino a nivel conceptual, a nivel de integración en la estructura cognitiva) entre los diferentes conceptos que intervienen en el fenómeno considerado como pueden ser los de velocidad, energía cinética o cantidad de movimiento.

Del otro 50% de los alumnos encuestados sólo un 20% del total (6 de 31) razonan de manera correcta, poniéndose de manifiesto otros tipos de problemas de aprendizaje entre los que destaca la existencia de dificultades relativas a conceptos tan elementales como es el de velocidad media.

Una vez más se pone de manifiesto que si se quiere que nuestros alumnos realicen aprendizajes significativos que le puedan resultar útiles en la vida real (y no sólo para resolver los ejercicios de clase o de los exámenes) es necesario detectar sus preconcepciones, crearles un conflicto cognitivo con respecto a ellas y, sólo a partir de ese momento estarán en condiciones de cambiar su manera de interpretar el fenómeno físico tratado y de asumir los nuevos aprendizajes.

BIBLIOGRAFÍA

- BARBERO GARCÍA, A.J. y GARCÍA CIFUENTES, A., Rodadura y deslizamiento sobre un plano inclinado, *Revista Española de Física* 13, (1), 49-53, 1999.
- CALVO, J.L.; SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L.; PEÑA, J.J.; RUBIO, S. y MONTANERO, M., Preconcepciones en dinámica: su persistencia en niveles universitarios. *Revista*

Española de Física 6, (3), 39-43, 1992.

- DRIVER, R.; GUESNES, E. y TIBERGHIE, A., *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Morata, Madrid, 1989.
- GALLI, I. y BAR, V., Motion implies force: Where to expect vestiges of the misconception? *International Journal of Science Education* 14, (1), 63-81, 1992.
- GALLI, I.; HAZAN, A.: *Learners' Knowledge in Optics: Interpretation, Structure and Analysis*. *International Journal of Science Education* 22, (1), 57-88, 2000.
- GIL, J.; SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L.; y SOLANO, F. (2003), Misconceptions in Optics: their persistence at university level, *Journal of Science Education* 4 (1), 17-21, 2002.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la física y química*, Laia - M. E. C., Madrid, 1989.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; OSUNA GARCÍA, L. y VERDÚ CARBONELL, R., *Aspectos didácticos de física y química*, Ed. ICE de Zaragoza, Zaragoza, 69-101, 1999.
- MENDOZA PÉREZ, A. y LÓPEZ-TOSADO, V., Concepción de la “luz” en niños de seis a nueve años. *Revista de Educación en Ciencias*, 1, (1), 26-29, 2000.
- MONTANERO, M.; PÉREZ, A.L. y SUERO, M.I., Survey of student and teacher conceptions of action-reaction and dynamics: implicit alternative theories are manifesting the consistency of responses, *Physics Education* 30, 277-283, 1995.
- MONTANERO, M.; SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L. y PARDO, P.J., Implicit theories of static interactions between two bodies, *Physics Education* 37, (4), 318-323, 2002.
- MONTANERO, M.; SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L. y MONTANERO FERNÁNDEZ, M., Evaluación del cambio conceptual mediante una entrevista en profundidad, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* 16, 135-146, 2002.
- MONTANERO, M.; PÉREZ, A. L.; SUERO, M.I. y MONTANERO FERNÁNDEZ, M., Cambio conceptual y enseñanza de la física. Aplicaciones en el marco de la Teoría de la Elaboración. *Revista de Educación* 326, 311-332, 2001.
- OSBORNE, R. y WITTRICK, M., Learning science: a generative process. *Science Education* 67, (4), 489-508, 1983.
- POZO, J.I.: *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata, 1989.
- POZO, J.I.; PÉREZ, M.P.; SANZ, A. y LIMÓN, M., Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas, *Infancia y aprendizaje* 57, 3-22, 1992.
- RUBIO, S.; CALVO, J.L.; SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L.; PEÑA, J.J. y MONTANERO, M., Misconceptions about heat and temperature. Thermodynamics and Statistical Physics (*Teaching Modern Physics*). *World Scientific*. Editors M.G. Velarde and F. Cuadros. Badajoz, 1995, 282-286.
- SERWAY, R.A. y BEICHNER, R.J. *Física*, McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. México, D.F., 2002, 329.
- SOLANO, F.; GIL, J.; PÉREZ, A.L. y SUERO, M.I., Persistencia de preconcepciones sobre los circuitos eléctricos de corriente continua. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 24, (4), 460-470, 2002.
- SUERO, M.I. y PÉREZ, A.L., ¿Sabe usted qué es eso del color? *Cátedra Nova* 10, 243-256, 1999.
- SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L.; MONTANERO, M. y RUBIO, S., *Preconcepciones sobre el color: Su persistencia en niveles universitarios. Actas del IV Congreso Nacional del Color*. Jarandilla de la Vera (Cáceres), 198-199, 1997.
- SUERO, M.I.; PÉREZ, A.L.; PARDO, P.J. y SOLANO, F., Test interactivo de detección de preconcepciones respecto al color utilizable a través de internet. *Actas del VI Congreso Nacional del Color*. Sevilla, 77-78, 2002.

Anexo 1

TEST DE LA ESFERA

Una esfera homogénea que se encuentra en reposo en lo alto de un plano inclinado puede descender por el mismo sin disipar energía de dos maneras diferentes:

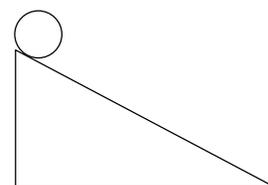
- Caso 1º: Deslizándose sin rozamiento.
- Caso 2º: Rodando sin deslizar.

1) ¿En cuál de los dos casos es mayor la velocidad del centro de la esfera cuando llega abajo?

- a) En el 1º
- b) En el 2º
- c) En ambos igual.
- d) Depende de la relación entre la masa y el radio de la esfera.
- e) Ninguna opción es correcta, lo correcto es:

2) ¿En cuál de los dos casos llega antes abajo?

- a) En el 1º
- b) En el 2º
- c) En ambos igual.



- d) Depende de la relación entre la masa y el radio de la esfera.
 e) Ninguna opción es correcta, lo correcto es:
 3) Explica brevemente el razonamiento que crees que has usado para dar tus respuestas:

Anexo 2

Resolución analítica del problema:

Llamaremos a_d y a_r a los módulos de las aceleraciones del centro de la esfera cuando desliza sin rozamiento y cuando rueda sin deslizar respectivamente. Sea θ el ángulo que forma el plano inclinado con la horizontal; m , I y r la masa y el momento de inercia y el radio de la esfera respectivamente; a su aceleración angular cuando rota y g la aceleración de la gravedad.

En el primer caso debe cumplirse que:

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}_d \Leftrightarrow m g \sin \theta = m a_d \Leftrightarrow a_d = g \sin \theta \quad (1)$$

En el segundo caso que:

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}_r \Leftrightarrow m g \sin \theta - \mu m g \cos \theta = m a_r$$

y que: $\sum \vec{M} = I \vec{\alpha} \Leftrightarrow \mu m g \cos \theta = 2/5 m r^2 a_r / r$
 que simplificando quedan: $g \sin \theta - \mu g \cos \theta = a_r$
 $\mu g \cos \theta = 2/5 a_r$

sumando miembro a miembro se obtiene: $g \sin \theta = 7/5 a_r$ (2)
 e igualando (1) y (2): $a_d = 7/5 a_r$ es decir la aceleración cuando baja deslizándose sin rozamiento es mayor que cuando baja rotando sin deslizar y, por tanto, llegará abajo antes y con mayor velocidad.

Anexo 3

Alumno X:

“El centro de la esfera lleva más velocidad al llegar abajo cuando rueda sin deslizar, porque al acelerarse más la esfera con respecto al tiempo el centro de la esfera que rueda se acelera más que el de la que desliza”.

“Llega antes la que se desliza sin rozamiento porque no le resta energía el rozamiento y en la que rueda sí tiene ese rozamiento en el punto que rueda”.

Breve comentario: La que desliza llega antes y con menos velocidad ¿¿??

Alumno Y:

“Llegan las dos con la misma velocidad porque si no hay rozamiento la velocidad va a depender sólo de la masa que es la misma en ambos casos”.

“Llega antes la que rueda sin deslizar porque a la velocidad de traslación se suma la velocidad de rotación”.

Breve comentario: ¡La velocidad de caída depende de la masa! (conocidísima preconcepción).

Alumno Z:

“Llega con más velocidad cuando rueda sin deslizar porque además del movimiento de traslación lleva sumado uno de rotación”.

“Llega antes abajo cuando desliza sin rozamiento porque no hay nada que vaya parando la esfera y cuando va rodando sí”.

Breve comentario: Cuando rueda lleva “algo más” que cuando “simplemente” desliza, el movimiento de rotación.

Received 18.07.2003, approved 23.04.2004