

La necesidad de integrar teoría, problema y experimentos. El caso de la rototraslación

The need to integrate theory, problems and experiments. The case of the Rolling Motion of Rigid Objects

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Jorge Alejandro Shitu^{1,2}, Sebastián Iván Benítez²

¹Universidad Nacional de Río Negro, Sede Andina, Mitre 630, San Carlos de Bariloche, CP 8400, Río Negro. Argentina.

²Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Extensión Aulica Bariloche, San Carlos de Bariloche, CP 8400, Río Negro. Argentina.

E-mail: jshitu@unrn.edu.ar

Resumen

Son bien conocidas las dificultades que experimentan los alumnos de primer año de carreras de ciencias e ingeniería al intentar resolver problemas de Física. Si bien parte de esas dificultades tienen que ver con la formación que recibieron en el nivel medio tanto en Física como en Matemáticas, también influyen la persistencia de las ideas previas, como la metodología de trabajo y las estrategias de aprendizaje que se usan en las cursadas de Física I. Presentamos en este trabajo los resultados de una experiencia de aula, en la que los alumnos de dos comisiones de Física I de la carrera de Ingeniería Mecánica tenían que predecir el resultado de algunos experimentos sencillos de rototraslación de cuerpos rígidos basándose en lo que habían visto en las clases teóricas y de resolución de problemas. El análisis de las respuestas de los estudiantes muestra la necesidad de desarrollar estrategias de enseñanza integrando mejor los aspectos teóricos, experimentales y de resolución de problemas, así como la persistencia de ideas previas.

Palabras clave: Integración de teoría, práctica y experimentos; Concepciones alternativas; Estrategias de aprendizaje; Enseñanza; Mecánica.

Abstract

Difficulties experienced by first-year science and engineering students when solving physics problems are well known. Some of these difficulties are related to the training received in high school, both in physics and in mathematics, but also to the influence of alternative conceptions, and to the working methodology and learning strategies used in class. In this paper we present the results of a classroom experience, with two physics courses in the mechanical engineering program. Students had to predict the result of some simple experiments of roto-translation of rigid bodies, based on what they had seen before in the theory and problem-solving classes. Analysis of students' responses shows the need to develop teaching strategies by integrating theoretical, experimental and problem-solving aspects, as well as the persistence of prior conceptions.

Keywords: Integration of theory, problems and experiment; Alternative conceptions; Conceptual mistakes; Learning strategies; Teaching; Mechanics.

I. INTRODUCCIÓN

Si bien las investigaciones en diversas áreas de didáctica de la física han hecho aportes muy valiosos para el mejoramiento de la enseñanza de esta disciplina a nivel universitario (ver Abell y Lederman, 2014), son bien conocidas las dificultades que conlleva el aprendizaje de esta disciplina en dicho nivel. Las razones de esta problemática son múltiples, y han sido descritas en muchos artículos de investigación.

Uno de los factores que más influye en esta realidad es la existencia de concepciones alternativas acerca de los fenómenos físicos. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado (Mora y Herrera, 2009; Scott Phil y otros, 2007; Pozo, 2003; De Posada, 2000; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Driver y otros, 1992), y el origen del mismo puede ser atribuido a diferentes razones (Campanario y Otero, 2000; Pozo y Gómez Crespo, 1998). La persistencia de las mismas a lo largo del tiempo es significativa, aún en el caso

de alumnos que han aprobado cursos universitarios de Física (Campanario y Otero, 2000; Pozo y Gómez Crespo, 1998).

A pesar de ello, con frecuencia, en los cursos de física universitarios no se les da a los alumnos suficientes oportunidades explícitas de tomar conciencia acerca de sus propias ideas acerca de los fenómenos físicos y confrontarlas con las teorías, modelos y leyes aceptadas por la comunidad científica. Es posible que esta sea una de las razones por las cuales los cambios conceptuales que se producen en los alumnos no perduran en el tiempo.

A su vez, creemos que otra de las causas que favorece la persistencia de las concepciones alternativas es el tipo de problemas que los alumnos resuelven y la forma en la que se les enseña a resolverlos. Muchas veces, la mayoría de los problemas que se les dan a los alumnos son del tipo de los que en la literatura se denominan ejercicios (Ceberio y otros, 2008; Martínez Torregrosa y Sifredo, 2005), es decir, problemas con datos numéricos que se resuelven repitiendo un esquema algorítmico de resolución, repitiendo mecánicamente los ejemplos que han visto en las clases teóricas de la materia.

Otro de los factores que suelen no trabajarse adecuadamente en las cursadas de Física universitarias de los dos primeros años es el desarrollo de la capacidad de argumentación en la resolución de problemas. Muy frecuentemente, cuando se pide a un alumno que resuelva un problema, se sobreentiende que es suficiente que el desarrollo del problema se realice a través de un conjunto de ecuaciones (Ceberio y otros, 2008; Guisasola y otros, 2006; Dufresne y Gerace, 2004; Langlois 1995 y Perales 1993), y la resolución correcta de dicho sistema se acepta como garantía de que el alumno entienda conceptualmente las leyes, modelos y teorías de la Física que se aplican al resolver el problema, y esto suele no ser así (al menos en algunos aspectos)

Asimismo, creemos que otro de los factores que puede influir en esta problemática es la separación de las clases de la materia en puramente teóricas, de resolución de problemas y de laboratorio, como si fueran espacios pedagógicamente separados (Gil Pérez y otros, 1999).

Una de las posibles alternativas que podría mejorar la situación descrita es la resolución de problemas de tipo conceptual, ligados a experimentos sencillos (Gil 1992, Van Heuvelen 1995, Van Heuvelen y otros, 1995), donde se les pida a los alumnos predecir que fenómenos ocurren, justificando la respuesta, realizando a continuación el experimento, y analizando los resultados que se obtienen, a la luz de las respuestas que dieron, y comparando las mismas con la resolución correcta del problema, con una explicación basada fundamentalmente en los conceptos que se aplican. Esta es la base de la propuesta metodológica que implementamos en dos cursos de Física I de la carrera de Ingeniería Mecánica, que se dictan en la Extensión Áulica Bariloche de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional (EABUTN), cuyos primeros resultados presentamos en este trabajo.

II. LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ELEGIDA Y SU RESOLUCIÓN TEÓRICA

El experimento que se utilizó para que los estudiantes predijeran su resultado fue la rototraslación de diferentes cilindros (varios de ellos macizos y uno hueco) sobre un plano inclinado. En cada experimento, dos cilindros diferentes se liberaron desde el reposo a partir de la parte superior de un plano inclinado.

A los estudiantes se los dividió en grupos de cuatro integrantes y se les pidió que, en forma grupal, en cada uno de los experimentos anticiparan cuál de los dos cilindros llegaría a la base primero, o en su defecto, que anticiparan que ambos cilindros llegarían al mismo tiempo y que justificaran lo mejor que pudiesen el resultado predicho. Se tuvo cuidado en que la variación de altura del centro de masa de ambos cilindros desde el punto de partida hasta que alcanzaban la base del plano inclinado era la misma.

Si bien este problema no se trabajó específicamente en la guía de problemas correspondiente a la rototraslación de cuerpos macizos, en la misma guía, los alumnos resolvieron los siguientes problemas:

(1) Tres cilindros A , B y C de la misma masa, pero de diferente radio y longitud están ubicados sobre un plano inclinado a una cierta altura h . Se liberan los tres al mismo tiempo. Sabiendo que $R_A > R_B > R_C$ y que $L_B > L_A > L_C$, y que ninguno de los cilindros patinan al moverse sobre el plano inclinado ¿cuál llega primero abajo?

(2) Tres esferas A , B y C de igual radio, pero de diferente masa están ubicados sobre un plano inclinado a una cierta altura h . Se liberan los tres al mismo tiempo. Sabiendo que $m_A > m_B > m_C$ y que ninguna de las esferas patinan al moverse sobre el plano inclinado ¿cuál llega primero abajo?

(3) Tres cuerpos rígidos homogéneos, un aro, un cilindro macizo y una esfera se dejan rodar libremente hacia abajo a lo largo de un plano inclinado desde la misma altura y que ninguno de los cuerpos patina al moverse sobre el plano inclinado ¿Cuál llega primero al piso?

Cada uno de estos problemas se puede resolver por dos vías diferentes: la conservación de la energía mecánica, o la dinámica. Se sabe que los tres cilindros del problema (1) y las tres esferas del problema (2) llegaban a la base del plano inclinado al mismo tiempo, ya que se tuvo cuidado de que ninguno de los cilindros resbalara mientras se desplazaba sobre el plano inclinado.

En efecto, plantearemos el problema (1) por conservación de la energía; en el caso que el cilindro no resbale tenemos que

$$m g h_i = \frac{1}{2} m v_f^2 + \frac{1}{2} m r^2 \omega_f^2$$

Siendo:

m = masa del cilindro

r = radio del cilindro

h_i = altura del centro de masa en el punto de partida, respecto de su posición final

v_f = velocidad del centro de masa del cilindro al llegar a la base

ω_f = velocidad de rotación del cilindro respecto del eje de rotación al llegar a la base

La posición final del centro de masa es aquella en la que cada cilindro entra en contacto con la superficie horizontal sobre la que está apoyado sobre el plano inclinado. Como:

$$v_f = r \omega_f \quad (2)$$

Reemplazando en la ecuación (1), nos queda

$$m g h_i = \frac{3}{4} m v_f^2 \quad (3)$$

de donde

$$v_f = 2 \sqrt{\frac{g h_i}{3}} \quad (4)$$

Como se ve, la velocidad final no depende ni de la masa, ni del radio, ni del largo del cilindro.

Si el cilindro fuese hueco, con radio interno R_i y radio externo R_e, y también en el caso que se cumpla la condición de rodadura sin deslizamiento, el mismo planteo nos conduce a la ecuación

$$v_f = 2 \sqrt{\frac{g h_i}{3 + \left(\frac{R_i}{R_e}\right)^2}} \quad (5)$$

como se ve, en este caso la velocidad final del cilindro no depende ni del largo ni de la masa del mismo, pero sí de los radios interno y externo. Comparando las ecuaciones (4) y (5) se deduce que un cilindro macizo llegará antes que uno hueco a la base del plano inclinado.

III. MÉTODO EXPERIMENTAL

Los alumnos realizaron cuatro experimentos comparativos; como decíamos anteriormente, en cada uno de ellos los alumnos dejaron rodar desde el reposo a dos cilindros diferentes ubicados a la misma altura sobre un plano inclinado (cuya superficie formaba un ángulo α con la horizontal). Antes de realizar cada experimento tenían que predecir cuál de los dos cilindros llegaba primero a la base. En todos los casos se les pedía justificar el resultado.

El total de alumnos se dividió en doce grupos de cuatro alumnos cada uno. Cada grupo tenía cinco minutos de discusión para predecir y justificar el resultado. Para ello se les pidió a los alumnos que antes de soltar los cilindros plantearan una hipótesis escrita fundamentada en cinco minutos respecto a cada una de las siguientes cuestiones: ¿Los dos cilindros caerán al mismo tiempo?: de no ser así, ¿cuál cilindro caerá primero?. Cada grupo dispuso de cinco minutos de discusión para hacer la predicción y justificar el resultado.

Los experimentos fueron los siguientes:

Primer experimento: Se soltaron al mismo tiempo, dos cilindros de igual radio, igual largo, pero de diferentes materiales, uno de aluminio, con una masa de 50 g y otro de bronce, con una masa de 165 g. En este caso, todos los grupos pudieron contestar las preguntas que se les plantearon.

Segundo experimento: se soltaron dos cilindros de igual radio, del mismo material, con masas de 300 g y 460 g respectivamente. Respecto a este experimento, de los doce grupos diez pudieron resolver las preguntas planteadas en el tiempo asignado.

Tercer experimento: se soltaron dos cilindros del mismo material, con masas diferentes (150 g y 650 g respectivamente), radios y largos diferentes. En cuanto a la cantidad de respuestas se repitió la situación del segundo experimento.

Cuarto experimento: se soltaron dos cilindros de igual radio, igual largo y masas diferentes. Uno de los cilindros era hueco, con una masa de 250 g y el otro macizo con una masa de 300 g. En este último caso, fueron nueve los grupos que pudieron resolver las problemáticas planteadas antes de llevar a cabo el experimento.

Suponemos que la cantidad de respuestas que recibimos en cada experimento estuvo relacionada con la dificultad relativa de cada una de las cuatro experiencias planteadas.

IV. RESULTADOS

A. Primer experimento

Dos grupos contestaron correctamente la pregunta, fundamentando adecuadamente la respuesta a través de un uso adecuado de las ecuaciones: uno de los grupos resolvió el problema por conservación de la energía en tanto que el otro lo hizo por Dinámica de la Rototraslación.

Tres grupos afirmaron que los cilindros llegan al mismo tiempo, pero con fundamentaciones parcialmente incompletas.

Un solo grupo afirmó que ambos cilindros llegarían al mismo tiempo, pero con una argumentación incorrecta: afirmaron que esto se debía a que la masa de los cilindros no influía en el resultado, extrapolando lo que sucede con bloques que se deslizan sobre un plano inclinado.

Seis grupos afirmaron que llegaría primero al final del plano inclinado el cilindro de mayor peso. Discriminando con mayor detalle los argumentos expuestos, vimos que de esos seis grupos cuatro de ellos trataron el problema como si los cilindros eran una partícula, argumentando que la componente del peso a lo largo del eje de traslación era mayor para el cilindro más pesado en comparación al otro, en tanto que los dos grupos restantes consideraron el movimiento de un cilindro macizo.

B. Segundo experimento

Uno de los grupos contestó que ambos cilindros llegarían al mismo tiempo, repitiendo el análisis que hicieron para el primer experimento.

Dos grupos contestaron que ambos cilindros llegarían al mismo tiempo, pero con una fundamentación incompleta. De estos dos grupos, uno expresó que ambos cilindros llegaban a la base del plano simultáneamente por conservación de la energía, porque la longitud no aparecía en las ecuaciones, aunque no plantearon las ecuaciones correspondientes explícitamente. Finalmente, el grupo restante hizo un planteo similar, pero agregando a los argumentos la igualdad de masas.

Otros cinco grupos respondieron que llegarían al mismo tiempo, pero con una fundamentación incorrecta. En ningún caso usaron ecuaciones para analizar el problema: un grupo argumentó que al ser cilindros de igual radio, los dos caerían al mismo tiempo, porque la velocidad del centro de masa era igual a la velocidad tangencial. Otro grupo argumentó que llegarían al mismo tiempo porque los cilindros tenían el mismo diámetro. Un tercer grupo afirmó que llegarían al mismo tiempo por tener el mismo radio, y porque al plantear la conservación de la energía, la masa se simplificaba en todos los términos. Finalmente, los dos grupos restantes afirmaron que la llegada simultánea se debía a que ambos cilindros tenían momentos de inercia iguales, confundiendo la ecuación del momento de inercia con su valor.

Otro grupo sostuvo que el más largo llegaría primero, porque era mayor su masa. Atrás de este planteo, resolvieron intuitivamente el problema como el movimiento de una partícula, cuya aceleración dependía solamente del peso.

Finalmente, un grupo afirmó que el que llega antes es el más corto, porque su momento de inercia era menor, por lo que su aceleración angular sería mayor.

C. Tercer experimento

Un grupo contestó que llegarían al mismo tiempo, resolviendo el problema a través del uso correcto de ecuaciones.

Otros dos grupos contestaron que llegan al mismo tiempo, pero no usaron ecuaciones para analizar el problema, y fundamentan incorrectamente su respuesta; en los dos casos, plantearon una suerte de compensación entre dos factores distintos: de estos dos grupos, uno de ellos afirmó que el cilindro de mayor masa tiene más energía cinética, pero a la vez tiene un momento de inercia mayor por lo que su aceleración angular será menor, compensándose ambos factores, en tanto que el otro argumentó de forma muy confusa: aludiendo al teorema de Steiner, diciendo que el largo del cilindro no influía en el momento de Inercia; y que las masas se anulaban (aludiendo a las ecuaciones de movimiento).

Otros tres grupos afirmaron que el que llega primero es el de mayor radio. De estos tres grupos, dos de ellos argumentaron lo mismo: el cilindro más largo pesa más y por eso tendrá una mayor aceleración. Nuevamente, repitieron el planteo intuitivo de considerar al cilindro como una partícula, en tanto que el restante dijo que el de mayor radio iba a tener mayor velocidad angular, confundiéndola con la velocidad tangencial.

Finalmente, cuatro grupos contestaron que el cilindro de menor radio llegaba primero: tres de ellos razonaron usando superficialmente la ecuación $\omega = V_{tg} / r$; a menor radio, mayor velocidad angular.

Finalmente, los dos restantes usaron superficialmente la ecuación $\gamma = \sum \tau_{ext} / I$; argumentando que como el cilindro de menor masa y menor radio tenía menor momento de inercia su aceleración angular era mayor que la del otro cilindro.

D. Cuarto experimento

Ningún grupo respondió correctamente, incluyendo predicción y argumentación.

Cuatro grupos afirmaron que el cilindro macizo llega primero, pero por razones distintas, en todos los casos equivocadas: uno de estos grupos planteó el problema considerando a los cuerpos como partículas, suponiendo que el que tiene mayor peso tenía mayor aceleración, en tanto que los otros tres grupos supusieron que el cilindro hueco tiene mayor inercia rotacional que el macizo por su distribución de masa, pero confundieron el valor del momento de inercia con la ecuación con la que se lo calcula. Dos grupos predijeron que ambos cilindros llegarían al mismo tiempo. Ambos grupos usaron superficialmente la ecuación $\omega = V_{tg} / r$, usando para r el valor del radio externo de ambos cilindros.

Finalmente, cuatro grupos predijeron que el cilindro hueco llegaría primero. De estos cuatro grupos, uno de ellos usó una ecuación equivocada para el momento de inercia del cilindro hueco ($I = (1/2)(R_e^2 - R_i^2)$); a partir de esa ecuación alegaron que este cilindro tendría un momento de inercia menor, y por lo tanto tendría menor inercia rotacional, por lo que llegaría primero a la base del plano. Otros dos grupos afirmaron que el momento de inercia se calculaba como $I = (1/2) m R^2$; como la masa del cilindro macizo era mayor, su momento de inercia sería mayor, y por lo tanto llegaría después que el hueco a la base.

Finalmente, el grupo restante afirmó que el momento de Inercia del cilindro hueco era mayor, ya que su masa estaba más alejada del eje de rotación. Sin justificar porque, predijeron que este cilindro es el que caería primero.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Si uno analiza con detenimiento todas las predicciones que realizan los estudiantes para cada uno de los experimentos, y las justificaciones hechas para cada predicción, se puede observar en general que:

Se nota que en cuanto a la relación entre la teoría y los experimentos, los alumnos tienen en general dificultades para relacionar tanto lo que se refiere a los contenidos vistos en las clases teóricas, con la resolución de problemas y ejercicios, así como lo que sucede en experimentos sencillos directamente relacionados con esos dos aspectos de su formación en Física. En particular, llama la atención que algunos grupos planteen el problema como un problema de movimiento de una partícula y lo resuelvan de esa manera, ya sea por dinámica o conservación de la energía, en lugar de tratarlo como un problema de rototraslación. También es llamativo que ningún grupo mencione el papel que la fuerza de roce juega en los experimentos.

Muy pocos grupos parten de ecuaciones generales para analizar el problema (ya sea la conservación de la energía o las ecuaciones de dinámica para cuerpos rígidos). En el caso de usarlas, no justifican por qué pueden usarlas. Además algunos grupos usan algunas ecuaciones en forma parcial e incorrecta para justificar una parte de las predicciones que hacen.

Entendemos que lo mencionado en los párrafos anteriores marca la importancia y la necesidad de trabajar en forma más integrada los aspectos teóricos, experimentales y de resolución de problemas en las cursadas de Física para el primer año de carreras de Ciencias Naturales e Ingeniería.

Para algunos alumnos se observa la persistencia de ideas previas en su física intuitiva. Por ejemplo, varios grupos justificaron la predicción de que el cilindro más pesado caería antes que el otro.

Finalmente, se puede ver que la mayoría de los grupos realizan análisis parciales de los experimentos que analizan, pero no dentro de un planteo integral de la solución del problema que parta de los principios, modelos, leyes y ecuaciones adecuadas para resolver el problema.

VI. CONCLUSIONES

A partir de esta experiencia creemos que se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Es necesario desarrollar en forma más integrada la enseñanza de física (al menos en los cursos introductorios de física), de manera que los alumnos empiecen a comprender que la teoría, los problemas y experimentos son aspectos diferentes del aprendizaje de la física, fuertemente conectados uno con el otro. Este tipo de proceso de enseñanza es clave para poder entender que no hay un divorcio entre los tres aspectos mencionados y lo que sucede en la vida real.

Creemos que una buena estrategia a desarrollar es que los procesos de aprendizaje incluyan experimentos realizados y analizados en clase, y planteados como un problema a resolver, reforzando luego estas actividades con laboratorios de tipo abierto, insistiendo en la necesidad de aplicar la teoría y la resolución de problemas en forma integrada, cualitativa y cuantitativamente para poder predecir resultados, tanto en experimentos realizados en el laboratorio así como en fenómenos que ocurren en la vida real.

Un aspecto importante se refiere a la necesidad de realizar análisis integrales sobre las condiciones de validez de las leyes, teorías, y modelos que se aplican a un suceso real antes de aplicarlas para resolver problemas vinculados con dichos sucesos (ya sea en ejemplos de problemas en clases teóricas, problemas a resolver, y laboratorios y experimentos diversos). También es importante remarcar las aproximaciones que se consideran al resolver un problema, o justificar por qué se eligen determinadas ecuaciones para estudiar un fenómeno físico.

Finalmente queremos remarcar la persistencia de concepciones alternativas aún luego de haber analizado en algunas clases la diferencia entre las mismas y las leyes y modelos que la comunidad científica acepta como válidos para la Mecánica Clásica. Creemos que para se produzca un cambio conceptual significativo en dichas ideas, que permita una sustitución paulatina por las leyes, teorías y modelos de la física, deben darse oportunidades para que en las cursadas los alumnos tomen conciencia de sus modelos, y las diferencias que estas tienen con los modelos, leyes y teorías validadas por la comunidad científica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de Río Negro por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante el subsidio correspondiente al proyecto de investigación "*Enseñanza y Aprendizaje en Ciencias Física*" PI-UNRN 40-B-494.

Agradecemos también a la Extensión Áulica Bariloche de la Universidad Tecnológica Nacional el uso de los equipos que permitieron la realización de los experimentos mencionados en este trabajo, así como las instalaciones donde se llevaron a cabo.

REFERENCIAS

Abell, S. K. y Lederman N. G. (Editores). (2014). *Handbook of Research on Science Education*. New York: Routledge - Taylor & Francis Group.

Ceberio, M.; Guisasola, J. y Almudí, J. M. (2008). ¿Cuáles son las innovaciones didácticas que propone la investigación en resolución de problemas de física y qué resultados alcanzan? *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), 419–430

Campanario, J.M. y Otero, José C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.

De Posada, J.M. (2000): El estudio didáctico de las ideas previas. En Perales Palacios, F.J y Cañal de León, P.: *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy, España: Marfil, 363-388.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1992). *Ideas Científicas en la Infancia y la Adolescencia*. Madrid: Morata.

Dufresne, R.J. y Gerace, W.J. (2004). Assessing-To Learn: Formative Assessment in Physics Instruction. *The Physics Teacher*, 42, 428-433.

Gil, D., Martínez-Torregrosa, J. y Ramírez, L.(1992).La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo un ejemplo de cómo puede plantearse una crítica fundamentada de la enseñanza habitual y del pensamiento docente espontáneo, y de cómo lograr la participación de los profesores en la construcción de propuestas alternativas. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, 73-85.

Gil Pérez, D., Furió Más, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisasola, J., González, E., Dumas-Carré, A., Goffard, M., y Pessoa De Carvalho, A. M. (1999) ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.

Guisasola, J., Ceberio, M. y Zubimendi, J.L. (2006). University Students' Strategies for Constructing Hypothesis when Tackling Paper-and-Pencil Tasks in Physics. *Research in Science Education*, 36(3), 163-186.

Langlois, F., Gréa, J. y Viard, J. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 179-191.

Martínez Torregrosa, J. y Sifredo C. (2005). ¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés? En Gil Pérez, D., Macedo B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. *¿Cómo promover el interés por una cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: OREAL/UNESCO

Mora, C. y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(1).

Perales, F.J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 170-178.

Pozo, J. I. (2003). ¿Puede la educación científica sustituir al saber cotidiano de los alumnos? Conferencia en el *II Congreso Iberoamericano de la Enseñanza de las Ciencias Experimentales*, Universidad de Alcalá. España.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). El aprendizaje de conceptos científicos: Del aprendizaje significativo al cambio conceptual. Capítulos IV y V de *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

Scott, P., Asoko, H. y Leach, J. (2007). Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. En Abell, S. K. y Lederman N. G. (Editores) (2007). *Handbook of Research on Science Education*. New York. Routledge - Taylor & Francis Group.

Van Heuvelen, A. (1995). Experiment problems for mechanics. *The Physics Teacher*, 33, 176-180.

Van Heuvelen, A., Allen, L. y Mihás, P. (1995). Experiment problems for electricity and magnetism. *The Physics Teacher*, 37, 482-485.