

**EL PAPEL CIENTÍFICO DE LAS HIPÓTESIS Y LOS RAZONAMIENTOS DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA
(The scientific role of hypotheses and the reasoning of college students in physics problem solving)**

Jenaro Guisasola

Mikel Ceberio

José Luis Zubimendi

Departamento de Física Aplicada I.

Universidad del País Vasco. (E.H.U-U.P.V). España.

Resumen

El trabajo que presentamos trata de explorar cómo los estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería emiten hipótesis para construir su propia estructura de resolución cuando se enfrentan a problemas de física. Bajo la perspectiva constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje, la emisión de hipótesis juega un papel fundamental para contrastar la coherencia de las ideas de los estudiantes con el marco teórico. Para acceder al razonamiento de los estudiantes hemos utilizado a modo de instrumento principal los informes escritos de la resolución de cuatro situaciones problemáticas en las que se solicita a los estudiantes de forma explícita que realicen la emisión de hipótesis. Los protocolos utilizados para la valoración de las resoluciones, han consistido en un estudio semicuantitativo en base a estadillos diseñados para el análisis de respuestas escritas de acuerdo con una metodología estándar. En este trabajo se incluye, a modo de ejemplo, dos de las situaciones problemáticas utilizadas, el esquema de categorización de las respuestas que les corresponden, así como los resultados obtenidos y las conclusiones.

Palabras-clave: emisión de hipótesis; razonamiento de los estudiantes; resolución de problemas; enseñanza de la Física

Abstract

This paper attempts to explore how freshmen college students in engineering state hypotheses to build their own problem solving structure when dealing with physics problems. From the constructivist perspective of the teaching and learning process hypotheses stating plays a fundamental role to check the coherence of students' ideas against the theoretical framework. The main instruments to accede to students' reasoning were their written solutions to four problematic situations in which they were asked to state hypotheses. The protocols were analysed according to a standard methodology. In this paper two of such problematic situations and the corresponding categorization schemes are presented in addition to research findings and conclusions.

Keywords: hypotheses stating; students' reasoning; problem solving; physics teaching

1. Introducción

Uno de los objetivos centrales de la educación científica es que los estudiantes desarrollen procedimientos y habilidades como las que emplean los científicos al realizar su trabajo (Reif y Larkin, 1991; Driver et al. 1996; National Research Council, 1996). Desde diferentes ámbitos se recomienda que la instrucción en ciencias ofrezca a los estudiantes oportunidades de aprender acerca de la naturaleza de la ciencia como una actividad intelectual que incluye generación y

desarrollo de los distintos cuerpos de conocimiento. Asociaciones como la American Association for Advancement of Science (A.A.A.S., 1989) en su proyecto ‘Science for all Americans’ indican que la ciencia escolar debería incluir no sólo lo *‘que’* la ciencia conoce, sino también *‘cómo’* la ciencia ha alcanzado ese conocimiento. Duschl (1997) expone que “en la actualidad, los libros de texto y los currículos de ciencias de Secundaria presentan, con demasiada frecuencia, los cambios en el conocimiento científico prestando muy poca atención a la dinámica que los indujo”.

La labor educativa de ayudar a los estudiantes a construir puentes que disminuyan la separación entre las formas de pensamiento en la vida corriente y en la ciencia no es sencilla. La separación existente entre los contenidos de las explicaciones cotidianas y las científicas ha sido constatada en numerosos trabajos (Pfundt and Duit, 1998). Otra importante separación se produce entre los procesos de razonamiento que utilizan los científicos y los no científicos para construir conocimiento. Aunque los científicos y la gente usan similares procesos de pensamiento –construir inferencias, realizar argumentaciones, criticar objetivos- los científicos coordinan los subcomponentes de los procesos del pensamiento cotidiano en diferentes niveles de especificidad y rigor (Klahr and Simon, 1999).

Parece existir un amplio consenso en que los científicos analizan y solucionan problemas con imaginación, creatividad, conocimiento previo y perseverancia (Matthews, 1994; McComas 2000). Estas características, por supuesto, están alejadas de una lista de pasos a veces mal asociados con el llamado ‘método científico’ y nos indican que no existe un método universalmente aplicable. Una revisión más detallada de estos estudios sobre cómo trabajan los científicos (Fernández et al. 2002; Guridi y Salinas, 2001; McComas, 2000; Watson et al. 1999; Sequeira, 1999) nos revela que existen una serie de características de la metodología científica -que no constituyen pasos rígidos a seguir, pero que si son facetas inherentes a ella- tales como analizar cualitativa mente los problemas, emitir hipótesis, elaborar estrategias, analizar los resultados o plantearse nuevos problemas a partir de los resultados obtenidos.

El trabajo que presentamos busca explorar cómo los estudiantes universitarios de primer curso de Ingeniería emiten hipótesis construyendo su propia estructura de vías de solución cuando se enfrentan a problemas de Física. Comprender cómo los estudiantes construyen hipótesis de solución puede ayudar en la educación en ciencias a guiar e impulsar a los estudiantes en la auténtica práctica científica, incluidas habilidades y formas de razonamiento científico.

La cuestión que se plantea en este trabajo es si la enseñanza habitual proporciona a los estudiantes suficientes oportunidades y tiempo para que puedan realizar un análisis cualitativo del fenómeno científico propuesto que les lleve a convertir sus ideas en hipótesis, a realizar predicciones y a contrastarlas con el cuerpo teórico enseñando en clase. De acuerdo con los trabajos mencionados, nosotros sostenemos que el análisis cualitativo y la emisión de hipótesis en el proceso de resolución de un problema son parte fundamental en la generación de un marco conceptual que permita alcanzar su solución.

2. La emisión de hipótesis y la Enseñanza de las Ciencias

El término “hipótesis” ha sido utilizado frecuentemente en las clases de ciencias como un contenido propio a ser enseñado. Es necesario, sin embargo, clarificar lo que pretendemos significar con él. Si una hipótesis es una predicción adecuada que realizan los estudiantes, la cuestión que se plantea es: “¿una predicción adecuada sobre qué?”. Parece que la palabra hipótesis puede tener diferentes significados según el contexto en el que se plantee, y, en este sentido, debe utilizarse con precaución. Por ejemplo, cuando Newton decía que “he framed no hypothesis as to the cause of gravity”, él estaba indicando que no especulaba acerca de una explicación de por qué la gravedad se

comporta como lo hace. En este caso Newton usaba el término hipótesis para referirse a una teoría inmadura.

En la última década, dentro del contexto educativo, se está prestando una atención específica a cuestiones sobre ‘Qué’ es la Ciencia y ‘Cómo’ trabajan los científicos. Generalmente, estos estudios se agrupan bajo la denominación general de investigaciones sobre la Naturaleza de la Ciencia (Duschl 1994, Matthews 1998). Driver et al. (1996) indican que estas cuestiones son fundamentales para guiar al profesorado de ciencias a enseñar una imagen adecuada de la andadura científica. Una de las cuestiones investigadas ha sido el papel que desempeña la emisión de hipótesis en el trabajo científico. En un reciente trabajo Watson et al. (1999) analizan varios cientos de investigaciones científicas y definen seis categorías de indagación científica. Una de las categorías que destaca es la aproximación cualitativa a los problemas como una de las características principales de la forma de abordar los problemas los científicos y, como condición necesaria en una investigación científica. Driver, Newton y Osborne (2000) indican que “La forma cerrada de presentar las actividades practicas hace que se minusvalore, o incluso se ignore, la importancia de la planificación previa de estas actividades; por ejemplo, cuál es la pregunta que guía la planificación de las actividades, cómo puede ser contestada esta cuestión empíricamente, qué métodos alternativos se podrían usar y cómo se podría seleccionar uno de ellos respecto a los otros” (p. 289). Así pues, concluimos que para resolver un problema o analizar un fenómeno el análisis cualitativo, que incluye la emisión de hipótesis, es un paso epistemológico necesario en la investigación científica.

McComas (2000) señala que la palabra ‘hipótesis’ tiene al menos tres posibles significados. Un primer significado sería el de una teoría provisional (hipótesis explicativa) que posteriormente podría convertirse en teoría. Un segundo significado sería el de un intento de establecer una norma (hipótesis generalizable) que posteriormente se podría convertir en ley. Por último, cuando se pide a los estudiantes que emitan hipótesis durante una experiencia de laboratorio o en la resolución de un problema, el significado es el de predicción plausible que no tenga contradicciones con el cuerpo teórico y que sea contrastable, bien experimentalmente o bien tras alcanzar la solución del problema. En nuestro trabajo utilizaremos la palabra hipótesis con este último significado.

En la enseñanza de las ciencias escribir y proponer hipótesis acerca de un fenómeno específico entra dentro de la amplia área de los conocimientos procedimentales. En este estudio con el término conocimiento procedimental nos referiremos a la capacidad de los alumnos para dar solución a problemas desde sus propios recursos de destrezas y conceptos articulados en base a un razonamiento propio de la Ciencia (De Pro, 1998). Educadores y profesores de ciencias se esfuerzan porque este procedimiento de investigación sea significativo y consista en una verdadera reflexión sobre el marco teórico adecuado (Law, 1996).

La emisión de hipótesis está estrechamente vinculada a la elaboración de las estrategias de resolución de la situación problemática y juega un papel fundamental después de obtener resultados en el control de los mismos. No puede existir análisis de los resultados en su sentido más amplio si no hay unas previsiones plausibles a contrastar. Así pues, la capacidad de ‘realizar hipótesis’ es considerada en los currículos de muchos países europeos como una capacidad cognitiva fundamental.

Pero, ¿cómo enlaza el proceso de emitir hipótesis con nuestra idea de cómo los estudiantes deben aprender Física? La visión constructivista del aprendizaje es el paradigma contemporáneo compartido por muchos profesores de ciencias (Driver et al. 1994, Mortimer, 1996; Driver, Newton y Osborne, 2000; Gil et al. 2002). En este paradigma la comprensión de los estudiantes viene configurada por su percepción del mundo y sus ideas sobre el mismo. Los estudiantes acuden a la clase de ciencias con fuertes concepciones sobre los fenómenos físicos y estas concepciones pueden suponer una dificultad en el aprendizaje si entran en contradicción con las teorías científicas

enseñadas. Por tanto, el conocimiento no debe ser recibido de forma pasiva, sino que deberá ser construido por los propios estudiantes para proporcionarles explicaciones satisfactorias de las experiencias (Gil et al. 2002). En este contexto de enseñanza/aprendizaje será necesario trabajar con los estudiantes procedimientos propios de la investigación científica que les ayuden a analizar fenómenos y resolver problemas. Como hemos comentado, uno de estos procedimientos es ‘la emisión de hipótesis’ y la enseñanza debería ayudar a los estudiantes a pasar de emitir suposiciones espontáneas a explicitar hipótesis que posean consistencia lógica con la teoría, que puedan ser contrastadas con la evidencia y que tengan un poder explicativo superior a otras predicciones. El trabajo que presentamos tiene por objeto analizar si las hipótesis que emiten los estudiantes, después de recibir formación tradicional en resolución de problemas, poseen las características que señalan los estudios sobre la Naturaleza de la Ciencia.

3. Metodología y Diseño experimental

Los informes escritos de los estudiantes nos revelan su pensamiento y podrían ampliar nuestro conocimiento acerca del proceso de construcción de hipótesis que realizan. Es sabido que el análisis de informes escritos ha sido utilizado frecuentemente para conocer el grado de aprendizaje de los estudiantes (Rivard, 1994) y no para categorizar los procesos de comprensión de nuevos conceptos o la utilización de procedimientos (Prain and Hand, 1999). En este estudio hemos utilizado informes escritos (con una invitación expresa a realizar dibujos y gráficos) como el instrumento principal para acceder al pensamiento de los estudiantes sobre cómo realizan hipótesis. No es sencillo convencer a los estudiantes en una sesión oral o en una “tormenta de ideas” que está permitido no conocer la respuesta correcta y que lo importante es emitir opiniones argumentadas. Como muchos profesores conocemos, en ocasiones, los estudiantes prefieren dejar de lado sus propias ideas y comentar aquellas que piensan que agradarán al profesor. Pensamos que un contexto de menor presión, como es el informe escrito, puede ser conveniente para el tipo de estudio que hemos realizado.

Numerosos estudios sobre resolución de problemas han constatado la falta de conocimientos procedimentales de los estudiantes (Kirschener et al. 1993; Lawson, 1994; Bandeira et al. 1995; Salinas et al. 1996; De Pro, 1998). Sin embargo, se podría objetar que aunque los estudiantes no expliciten los procedimientos cuando resuelven problemas sí dominan de una manera implícita muchas de estas destrezas. Es decir, los estudiantes al resolver problemas economizan tiempo y esfuerzo y no sienten la necesidad de explicitar el conocimiento procedimental, simplemente buscan el resultado correcto. Por ello, en este estudio hemos elaborado cuatro situaciones problemáticas en las que se solicita a los estudiantes de forma explícita mediante preguntas directas que realicen un análisis cualitativo y emitan hipótesis encaminadas a predecir la evolución del sistema (dos situaciones) o a relacionar la variables que intervienen en el fenómeno (otras dos situaciones).

Por otro lado, somos conscientes de que la resolución de problemas es un proceso global en el que es difícil separar los diferentes aspectos del conocimiento procedimental y que es necesario una continua retroalimentación entre las diferentes etapas. Por ello, hemos presentado las situaciones problemáticas con la información específica para el análisis que se solicita, tratando de incluir los datos necesarios y aclarar, en gran medida, las simplificaciones que se deben realizar para adaptarlo al marco teórico impartido en clase. Pretendemos con ello centrar el análisis en la emisión de hipótesis entendida como una parte integrada en el proceso global de la resolución.

Así, en las preguntas que se realizan se explicita que analicen de manera cualitativa, con palabras y sin utilizar fórmulas, aspectos concretos como la descripción de la situación o la

identificación de variables, también se realizan preguntas directas sobre lo que se espera que suceda y su descripción, sin realizar cálculo matemático alguno. En las dos últimas situaciones se pregunta más directamente sobre las magnitudes físicas que influyen en el sistema y el análisis de casos límite. Debido a cuestiones de espacio vamos a presentar aquí sólo dos de las cuatro situaciones problemáticas (ver cuadros 1 y 2) cuyas resoluciones se incluyen en el anexo.

Movimiento de una carga puntual en el interior de un condensador: Un condensador de placas paralelas se carga utilizando una batería y, una vez cargado, se desconecta de ella. Una carga positiva, cuyo peso despreciaremos en todo momento frente a la interacción eléctrica, se libera desde el reposo en un punto A próximo a la placa positiva. Sin realizar cálculo matemático alguno: a) Razona qué le sucede a la carga positiva. b) Razona de qué magnitudes físicas dependerá la velocidad con la que la carga llegará a un punto B próximo a placa negativa, así como la forma que tendrá esta dependencia. c) Analiza las situaciones de especial relevancia física que dentro del contexto del problema consideres que se puedan producir para ciertos valores característicos de las variables descritas en el apartado anterior.

Cuadro 1. Situación problemática 1 presentada a los estudiantes.

Movimiento de rotación de una varilla: Una varilla homogénea puede girar libremente en torno a un eje horizontal fijo situado a una determinada distancia por debajo de su centro de masas. La situamos sobre la vertical y, por medio de un pequeño desplazamiento la hacemos rotar. Sin realizar cálculo matemático alguno: a) Razona de qué magnitudes físicas dependerá la aceleración angular de la varilla durante la rotación, así como la forma que tendrá esta dependencia. b) Analiza las situaciones de especial relevancia física que dentro del contexto del problema consideres que se puedan producir para ciertos valores característicos de las variables descritas en el apartado anterior.

Cuadro 2. Situación problemática 2 presentada a los estudiantes.

Los estudiantes dispusieron de 50 minutos para contestar a cada una de las situaciones, de estructura cerrada y similares a las abordadas en clase, y se les insistió oralmente en el carácter limitado de la resolución del problema hacia los aspectos que se indicaban en el enunciado. Así mismo, se les remarcó el carácter explicativo de las respuestas buscando significados físicos no exclusivamente operativos. Cumplir con estos requisitos supone importante reflexión sobre los fenómenos físicos que se producen en el contexto de la situación planteada y mucha verbalización en la presentación del informe, por lo que el tiempo de cada sesión, en nuestra opinión, no resulta excesivo.

Esta fase de conclusiones escritas es precedida de otra previa en la que los estudiantes tienen que estructurar sus criterios y contenidos para resaltar lo que ellos entienden por hipótesis en una situación problemática concreta (Millar, 1994). Para esta fase previa los estudiantes disponían de hojas adicionales que también entregaron.

Muestra

La investigación se realizó con cuarenta y cuatro estudiantes de primer curso de Ingeniería Técnica Industrial en la Universidad del País Vasco (España). Cuando los estudiantes contestaron a las situaciones problemáticas era casi final de curso (Mayo/Junio) y la enseñanza que recibieron era similar a la de otras universidades de España y de Europa: el profesor/a resuelve los problemas y explica detalladamente los pasos que realiza para su resolución, justificando las variables que elige y las leyes físicas que utiliza, mientras los estudiantes toman notas. Durante la explicación los estudiantes tienen oportunidad de preguntar sus dudas. La clase se componía de un gran número de

estudiantes (ochenta y tres) y el libro de texto utilizado era conocido a nivel internacional (Physics for Scientific and Engineers, 4^o edición, W.H. Tipler, traducción al castellano en Reverté editorial). Los cuarenta y cuatro estudiantes fueron elegidos aleatoriamente de una clase de ochenta y tres, y dieron voluntariamente su consentimiento para participar en la experiencia.

Análisis de los datos

Los protocolos utilizados para la valoración de las resoluciones realizadas por los estudiantes han consistido en un estudio semicuantitativo en base a estadillos diseñados para el análisis de respuestas escritas de acuerdo con metodologías estándar (Cook y Reichardt, 1986). En el análisis de las respuestas hemos tratado de relacionar las frases escritas con el conocimiento del estudiante a través de su forma de integrar los datos o de hacer hipótesis.

Es difícil valorar adecuadamente todos los comentarios realizados por los estudiantes. Para caracterizar las respuestas se agrupaban los comentarios en estructuras discretas que se reconocen como ‘una explicación’ (Cortazzi, 1993). En la fase cuantitativa del análisis hemos diseñado un esquema de categorización de las respuestas globales de los estudiantes en una escala de 0-4 (cuadro 3) según sean más o menos próximas a las características de la metodología científica sobre las que existe un amplio consenso (McComas, 2000; De Pro, 1998; Gil y Carrascosa, 1994; Millar, 1994).

Se han utilizado dos criterios para asignar niveles bajos a las respuestas. Según el primero, cuando los estudiantes no utilizan los procedimientos científicos referentes al análisis cualitativo y a la emisión de hipótesis en su intento de resolución de una situación problemática se les asigna el nivel 0, y, en base al segundo criterio, cuando mencionan o utilizan más inferencias o visiones personales que los procedimientos científicos se incluyen en los niveles 1 y 2. Los niveles 3 y 4 corresponden a respuestas acordes con los procedimientos científicos, y por tanto de elevada capacidad procedimental.

Nivel	Categoría de respuesta
0	No reconoce el marco teórico de referencia donde se sitúa la situación problemática. No acota la situación para modelizarla y simplificarla si es preciso.
1	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática. No predice la posible evolución del sistema, ni identifica correctamente las variables principales en la evolución del problema.
2	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifica correctamente alguna de las variables principales en la evolución del problema. Sin embargo, no establece procesos de control y exclusión de variables. No establece relaciones correctas entre las variables y/o no las justifica.
3	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifica correctamente las variables principales en la evolución del problema. Además, establece relaciones correctas entre las variables y las justifica.
4	Explica el marco teórico donde se sitúa la situación problemática e identifica correctamente las variables principales en la evolución del problema. Además, establece relaciones correctas entre las variables y las justifica analizando algunos casos límite de interés.

Cuadro 3. Esquema de codificación de las contestaciones de los estudiantes cuando tienen que emitir hipótesis en una situación problemática.

4. Resultados y discusión

En un intento de maximizar el rigor de nuestros análisis, los tres investigadores participantes en el trabajo analizamos, en primer lugar, una muestra reducida de respuestas (8 estudiantes) de cada situación problemática y realizamos una categorización de acuerdo con los criterios del cuadro 3 particularizados para cada problema. Así pues, se llegó a un consenso en las categorizaciones de las 'explicaciones' y posteriormente, se analizaron todas las respuestas de los estudiantes. El consenso logrado en la categorización de las respuestas superó el 85% de la muestra. En los casos en que había diferencias de criterio se llegó a un consenso por mayoría. Este análisis previo nos permitió establecer la uniformidad de los criterios de caracterización y, para las situaciones problemáticas que estamos presentando como ejemplos, se concretó de la siguiente manera:

Problema 1. Movimiento de una carga puntual en el interior de un condensador:

En el **nivel 0** se han ubicado aquellas respuestas de los estudiantes que no han cumplido ninguno de los requisitos característicos de los niveles 1 a 4 que se detallan a continuación.

En el **nivel 1** se han considerado aquellas respuestas de los estudiantes que razonan sobre la velocidad que adquiere la partícula en base a la interacción eléctrica y a la segunda ley de Newton (relaciones cinemático-dinámicas), o bien utilizan razonamientos basados en la conservación de la energía ya que la fuerza eléctrica es conservativa. Sin embargo, las 27 respuestas de los estudiantes ubicadas en este nivel se limitan a mencionar de forma genérica las leyes cinemático-dinámicas sin señalar ninguna relación significativa entre las variables. Ejemplos de este tipo de razonamiento son los siguientes:

Ejemplo 1: *En el interior del condensador existe un campo eléctrico perpendicular a las placas y dirigido de la positiva hacia la negativa. Si soltamos la carga positiva junto a la placa positiva, esta se verá sometida a una fuerza eléctrica y se acelerará.*

Ejemplo 2: *La partícula inicialmente posee una energía potencial, así que cuando llegue a la posición final tendrá una energía cinética, pues la energía mecánica se conserva.*

Hemos considerado que las respuestas de los estudiantes están en el **nivel 2** cuando, además de indicar las explicaciones propias del nivel 1, se señalan al menos tres relaciones entre las variables que son consideradas básicas para poder emitir hipótesis sobre la posible solución del problema. Estas relaciones son las siguientes:

- La interacción eléctrica, y en consecuencia, la velocidad depende de la carga q de la partícula.
- La diferencia de potencial V entre placas afecta a la velocidad final.
- La permitividad ϵ_r del medio entre placas afecta a la velocidad final.
- La distancia x entre los puntos inicial y final afecta a la velocidad final.
- El área de las placas S afecta a la velocidad final.
- La masa m afecta a la velocidad final.

Ejemplos de respuestas consideradas en este nivel son las siguientes:

Ejemplo 3.: *La velocidad de la carga dependerá de las siguientes magnitudes: la carga de la partícula, la distancia entre los puntos final e inicial, la diferencia de potencial con la que se han cargado las placas, la aceleración del protón, el campo eléctrico y el tiempo.*

Como vemos, el estudiante cita correctamente algunas variables pero no las justifica, y además, menciona de manera inapropiada otras variables dependientes.

Ejemplo 4: *La velocidad de la carga dependerá de las siguientes magnitudes: la carga de la partícula (cuanto más carga más velocidad), la distancia entre los puntos final e inicial (cuanto más distancia más velocidad), la masa de la partícula, (cuanto más masa menos velocidad), la superficie de las placas (cuanto más superficie menos velocidad)...*

En este caso, el estudiante cita correctamente algunas variables así como su relación con la velocidad, pero sin justificar esta dependencia en base al cuerpo teórico.

En el **nivel 3** se han considerado aquellas respuestas que además de identificar al menos tres de las relaciones básicas entre variables realizan una justificación coherente con el marco teórico explicado en clase y no en base a intuiciones o convicciones personales. Las relaciones y justificaciones que se pueden aportar para la situación problemática se indican a continuación:

- ? El aumento de q conlleva un aumento de v **final** a través del incremento de la interacción eléctrica con la carga de las placas.
- ? El aumento de m conlleva un aumento de la inercia de la partícula por lo que disminuye v **final**.
- ? El aumento de x conlleva el aumento de v **final** a través del incremento del tiempo durante el que actúa la fuerza eléctrica (o debido al aumento del trabajo realizado por la misma).
- ? El aumento de V conlleva un aumento de v **final** a través del incremento de la carga por unidad de área que se ubica en las placas, lo que aumenta la interacción.
- ? El aumento de d conlleva un aumento del **potencial** V pero no un aumento de la carga en las placas, ni del campo eléctrico entre ellas, por lo que la relación V/d se mantiene constante, y la interacción eléctrica no varía.
- ? El aumento de S disminuye la densidad de carga en las placas (no puede entrar más carga tras desconectar la batería) por lo que el campo será menor y v **final** también sería más pequeña.
- ? Al introducir un dieléctrico, el aumento de ϵ_r hace que, como consecuencia de la polarización, el campo entre placas sea menor, y menor la v **final** (siempre y cuando consideremos que el medio dieléctrico no dificulte el movimiento de la carga en su seno).

Este nivel 3 ha sido alcanzado únicamente por dos estudiantes, uno de los cuales además lo ha superado por lo que ha sido ubicado en el nivel 4. A continuación citamos como ejemplos estas respuestas correctas:

Ejemplo 5.: *Con respecto a la carga de la partícula, si hay más carga la fuerza eléctrica es mayor por lo que la aceleración será mayor y la velocidad también. Lo mismo ocurre con la carga de las placas, es decir con la diferencia de potencial con la que se ha cargado el condensador, cuanto mayor potencial más carga y más fuerza... Cuando mayor sea la masa se necesita una mayor fuerza para moverla por lo que la velocidad será menor, ...*

Ejemplo 6.: *...la velocidad dependerá de la distancia entre A y B pues la carga al moverse se acelera y cuanto más lejos estén A y B más rápido llegará. Si aumenta la carga aumenta la velocidad ya que la fuerza es proporcional a la carga, y la fuerza es proporcional a la aceleración. Pero, cuanto mayor sea la masa de la partícula menor será la aceleración para una fuerza eléctrica. La velocidad será mayor cuanto más intenso sea el campo eléctrico y este aumenta con el potencial de la pila, por lo que cuanto más potencial más velocidad...*

Ya hemos mencionado que sólo un estudiante, además de relacionar y justificar al menos 3 relaciones entre las variables que influyen en una predicción de la solución, ha explicado algún caso límite. Los posibles casos límite a analizar en esta situación serían los siguientes:

- ? Si $x=0$ la velocidad v final se anula pues el intervalo en el que actúa la interacción es nulo.
- ? Si $x=d$ la velocidad v final se hace máxima pues el intervalo en el que actúa la interacción es máximo.
- ? Algún valor límite para q .
- ? Algún valor límite para V .

Dentro de la única respuesta ubicada en este nivel 4 se indica a continuación el caso límite valorado por el estudiante:

Ejemplo 7.: *Si la partícula que ponemos fuera neutra ($q=0$) no existiría movimiento porque no habría ninguna fuerza que actuara sobre ella, ya que no consideramos el peso. Como es neutra no es atraída ni repelida por las placas.*

Problema 2. Movimiento de rotación de una varilla:

En el **nivel 0** se han ubicado las respuestas de los 12 estudiantes que no han cumplido ninguno de los requisitos característicos de los niveles 1 a 4 que se detallan a continuación. Como ejemplo, podemos citar:

Ejemplo 8 .: *...se puede, mediante energías, calcular la velocidad angular final. Sabiendo que recorre un espacio angular de 180° , se puede calcular la aceleración angular y ver de que depende.*

En el **nivel 1** se han incluido las respuestas de los estudiantes cuando estos indican que la aceleración angular se relacionará con las diferentes magnitudes a través de la ecuación fundamental de la dinámica de rotación, aunque no razonen que la única fuerza que realizará momento será el peso que actúa sobre el centro de masas de la varilla, pues las reacciones en el eje,

se aplican en el mismo eje de rotación. Han sido 4 las resoluciones categorizadas en este nivel, y como ejemplo, citamos,

Ejemplo 9.: *La suma de momentos respecto al eje de giro será igual al momento de inercia de la varilla que rota, por la aceleración angular de la varilla.*

El estudiante, a continuación, obtiene una expresión matemática de la aceleración angular, pero no realiza previsión alguna respecto a la dependencia de variables, al igual que los otros tres estudiantes categorizados en este nivel procedimental.

Los 7 estudiantes incluidos en el nivel 2, además de lo reseñado para el nivel 1, han indicado al menos 2 de las siguientes magnitudes que influyen en la aceleración angular pedida:

La masa m , la distancia x entre el punto de aplicación del peso (centro de masas) y el eje de giro, y, la posición angular θ medida desde la vertical afectarán a la aceleración angular a , a través del momento del peso y a través del momento de inercia, mientras que la longitud de la varilla L afectará a la aceleración angular a a través del momento de inercia.

Ejemplo 10.: *La aceleración angular dependerá de varios factores, como el momento de inercia, por lo que depende de la masa y de la longitud de la varilla. A su vez puede depender de la distancia al centro de masas a la que se suspende.*

Ejemplo 11.: *...teniendo en cuenta que $M=I \cdot a$, la aceleración dependerá de: las fuerzas actuantes, en este caso el peso, por tanto dependerá de g ; de la distancia del punto de aplicación de las fuerzas al eje de giro, o sea de x ; dependerá también del ángulo por el que pasa...*

Habíamos establecido que la respuesta de un estudiante está incluida en el **nivel 3** cuando, además de lo reseñado en el nivel 2, indicara al menos 3 de las siguientes justificaciones:

? El aumento de m conlleva, por un lado, el aumento de a a través del incremento del momento del peso respecto al eje de giro, y, por otro lado, la disminución de a a través del incremento del momento de inercia.

? El aumento de x conlleva, por un lado, el aumento de a a través del incremento del momento del peso respecto al eje de giro, y, por otro lado, la disminución de a a través del incremento del momento de inercia.

? El aumento de θ mientras la varilla pasa de su posición inicial vertical a la horizontal conlleva, por un lado, un aumento de a a través del incremento del momento del peso respecto al eje de giro, y que, por otro lado, una disminución de a a través de la reducción del momento del peso respecto al eje de giro.

? El aumento de L conlleva la disminución de a a través del incremento del momento de inercia.

Sin embargo, ningún estudiante ha sido capaz de valorar justificadamente estos aspectos.

Tampoco ha alcanzado ningún alumno el **nivel 4** de nuestro protocolo en el que se requería que, además de lo reseñado en el nivel 3, se indicara al menos 1 de los siguientes casos límite:

El momento es nulo cuando el eje de giro pasa por el centro de masas, por lo que la varilla no rotaría.

a será máxima al pasar por la horizontal (peso y varilla perpendiculares).

? será nula al pasar por la vertical (peso y varilla paralelos).

En esta clasificación podemos apreciar que, de acuerdo con nuestros criterios, cuando los estudiantes no mencionan o utilizan la mayoría de los procedimientos científicos en el análisis de una situación problemática son incluidos en el nivel 0, y que cuando mencionan o utilizan más inferencias o visiones personales que razonamientos coherentes con el cuerpo teórico son incluidos en los niveles 1 y 2. En los niveles 3 y 4, por contra, figuran los estudiantes que han emitido hipótesis razonadas mostrando una elevada capacidad procedimental. Los resultados obtenidos tras aplicar esta categorización a las cuatro situaciones problemáticas planteadas, dos de las cuales acabamos de desarrollar con detalle, se recogen en el esquema de codificación del cuadro 4.

Nivel	Movimiento de una carga en el interior de un condensador N=44	Movimiento de rotación de una varilla N=23	Movimiento de una bola de billar N=22	Inducción magnética N=42
0	4	12	5	12
1	27	4	12	7
2	11	7	4	20
3	1	0	0	2
4	1	0	1	1

Cuadro 4. Resultados de la categorización de las respuestas.

Vemos, por tanto, que para el caso del movimiento de la partícula en el interior del condensador, la mayoría de los estudiantes utilizan numerosas intuiciones espontáneas y alguna información aprendida en clase para emitir hipótesis (niveles 1 y 2). De los 44 estudiantes que han abordado la resolución del problema del “movimiento de la carga en el interior del condensador”, la mayoría (27) se ha limitado a indicar las leyes dinámicas y cinemáticas dentro de la interacción eléctrica, o bien un marco energético, sin justificar su utilización ni indicar la mayoría de las principales variables que intervienen (nivel 1). La cuarta parte de los estudiantes además de reconocer el marco teórico ha identificado al menos la mitad de las variables que afectarían a la velocidad de la carga (nivel 2, 11 alumnos). Ahora bien, cuando se trata de justificar razonadamente en base al marco teórico el por qué de la dependencia entre variables que se propone, solamente un alumno ha explicado al menos la mitad de las relaciones (nivel 3). Además de lo anterior, la consideración de algún caso límite característico de la situación sólo es abordado por un estudiante (nivel 4).

La categorización de las resoluciones que los estudiantes han hecho del problema de “rotación varilla”, nos ha llevado a definir dos grandes subgrupos: los que no reconocen el marco teórico bajo el cual interpretar la situación planteada de manera explícita (haciendo referencia al momento de las fuerzas exteriores), ni de manera implícita (mencionando algún término más coloquial pero que de pie a interpretar que el estudiante da significado a la inclusión de la variable que cita) incluidos, por tanto, en el nivel 0 (12 estudiantes), y, los que reconociendo el marco teórico, no razonan la dependencia de las variables que proponen (nivel 1, 4 estudiantes) o, a lo sumo, razonan la dependencia de la aceleración angular con dos variables (nivel 2, 7 estudiantes).

Como podemos observar en el cuadro 4, los resultados para las otras dos situaciones problemáticas propuestas son, así mismo, convergentes con los anteriores.

4. Conclusiones

El análisis de los informes escritos por los estudiantes lleva a reconocer una amplia gama de hipótesis y suposiciones realizadas en su intento de resolver el problema y contestar a las preguntas planteadas. El estudio realizado confirma que los estudiantes emiten hipótesis sin la rigurosidad y características que un procedimiento científico requiere. La hipótesis emitidas están más relacionadas con sus interpretaciones subjetivas y personales sobre el marco teórico estudiado que con una comprensión significativa del mismo (ver ejemplos de los niveles 1 y 2 de los dos problemas analizados). Este resultado es convergente con otros estudios como el realizado por Song and Black (1992).

Este estudio, centrado en el análisis de las hipótesis realizadas por los estudiantes al resolver un problema, nos ha permitido reconocer las siguientes características:

- a) *Cuando los estudiantes se enfrentan a un problema tratan de situar el marco teórico (conjunto de leyes y teoría) donde desarrollar las posibles vías de resolución.*
- b) *En un proceso de adaptación del marco teórico a sus intuiciones espontáneas van identificando algunas de las variables que influyen en el problema. La gran mayoría de los estudiantes explícita hipótesis descriptivas (niveles 1 y 2) que mezclan intuiciones personales y el marco teórico aprendido.*
- c) *Parece que los estudiantes, partiendo de sus intuiciones personales, consideran evidentes las relaciones que establecen y no creen necesario justificarlas como requieren los niveles 3 y 4. Así pues, los estudiantes piensan sobre las características propuestas en el problema, las contrastan con su conocimiento previo y emite hipótesis plausibles para ellos. No se preocupan de apoyar sus hipótesis con evidencias aportadas por el marco teórico. Es decir, la mayoría de los estudiantes juzga plausible una hipótesis si es congruente con su conocimiento previo sin contrastarlas rigurosamente con el marco teórico explicado en clase.*
- d) *Como consecuencia de lo anterior, los estudiantes establecen relaciones entre las variables desde sus propias intuiciones sin criticar las relaciones desde el punto de vista del marco teórico y sin buscar evidencias teóricas de las mismas. Aunque es lógico tener ideas y opiniones sobre las relaciones a establecer, en el trabajo científico es necesario buscar evidencias teóricas que las apoyen y justifiquen, y, se prefieren hipótesis que demuestren que se está pensando en el conjunto de las leyes establecidas en el marco teórico y no en un caso particular aislado.*

Las características señaladas parecen indicar que los estudiantes no están familiarizados con la forma de emitir hipótesis en el trabajo científico ni con cómo trabajan los científicos en esta fase de la investigación. En ciencia una hipótesis debe ser plausible (consistencia lógica interna y externa con la teoría), consistente con la evidencia (los datos del problema) y superior a otras posibles especulaciones (aplicación). Estos criterios son construidos socialmente y llevados a la práctica.

Un relativo énfasis en criterios epistemológicos de plausibilidad y consistencia teórica en la clase de ciencias podría tener importantes consecuencias en la estructura metaconceptual de los estudiantes y en la resolución de problemas, pudiéndose alcanzar un

mayor interés en las actividades de indagación y cambio conceptual (Guridi y Salinas, 2001). Explicitar criterios epistemológicos sobre qué tiene entidad para ser considerada una hipótesis, podría ayudar a los estudiantes en la fase inicial de la resolución de un problema, ya que si ellos creen que tienen suficientes respuestas, basadas en su intuición y su experiencia, para las preguntas que se les formulan, no estarán motivados para contrastar sus suposiciones con el cuerpo teórico (Varelas, 1996). Así mismo, los criterios epistemológicos de los estudiantes forman parte de su ecología conceptual (Striker and Posner, 1992) y pueden influir en cambiar sus ideas previas sobre los fenómenos, por ejemplo, decidiendo si tienen que valorar la necesidad de revisar sus creencias y objetivos personales de forma crítica mientras analizan y evalúan nuevas informaciones.

En el trabajo científico las hipótesis se utilizan para expresar determinadas posibles vías de solución de un problema de acuerdo con los estándares construidos por la comunidad científica y, por tanto, deben ser normativas. En un contexto de valoración de hipótesis los conocimientos sólo son juzgados relevantes si van acompañados de un conocimiento sobre los criterios para juzgar las hipótesis. Estos criterios epistemológicos se pueden describir desde un plano interpersonal a un plano intrapersonal a través de un proceso de internalización (Vigotsky, 1978). Nos basamos en esta intuición y en los resultados obtenidos para concluir que promover actividades en la clase de ciencias donde los estudiantes puedan experimentar prácticas socioculturales sobre el origen de criterios epistemológicos para evaluar la actividad científica, puede ser una prometedora estrategia educativa en la resolución de problemas.

Desde esta perspectiva una organización de la clase en grupos de estudiantes que trabajan juntos para dar sentido al problema que analizan y que aplican conocimiento de manera normativa, puede tener un mayor potencial para aumentar el desarrollo epistemológico y científico de los estudiantes que aquellas clases en las que los alumnos realizan ejercicios de forma mecánica y repetitiva.

Bibliografía

- AMERICAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF SCIENCE. (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, DC: AAAS.
- BANDEIRA, M., DUPRE, F., IANNIELLO, M.G. y VICENTINI, M., 1995, Una investigación sobre habilidades para el aprendizaje científico. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1).
- COOK T.D. & REICHARDT Ch.S. (1982). *Qualitative and quantitative methods in evaluation research*. Sage Publications, Inc.
- CORTAZZI, M. (1993). *Narrative Analysis*. London: Palmer Press.
- DE PRO, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias* 16 (1), 21-41.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., MORTIMER, E. & SCOTT, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational researcher*, 23(7), 5-12.

- DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. & SCOTT, P (1996) *Young peoples' images of science*. Bristol, PA: Open University Press.
- DRIVER R., NEWTON P. y OSBORNE J., 2000, Establishing the norms of scientific argumentation in classroom, *Science Education* 84, 287-312.
- DUSCHL, R.A. (1994). Research on the history and philosophy of science, en Gabel D.L. (editora) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, MacMillan Publishing Company: New York.
- DUSCHL, R.A. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias*. Narcea ediciones, Madrid.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. & PRAIA J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- GIERE, R.N. (1984). *Understanding scientific reasoning*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- GIL D. y CARRASCOSA J. (1994) Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: A permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education* 78 (3), 301-315.
- GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H., GALLEGO, R., 2002, Defending constructivism in science education, *Science and Education* 11, 557-571.
- GURIDI, V. y SALINAS, J.. (2001), El vínculo entre aspectos conceptuales y epistemológicos en el aprendizaje de la Física. *Investigaciones em Ensino de Ciências* vol. 6 (2), www.if.ufrgs/public/ensino/revista.htm.
- KIRSCHNER, P., MEESTER, M., MIDDELBEEK, E & HERMANS, H. (1993). Agreement between student expectations, experiences and actual objectives of practicals in the natural sciences at the Open University of the Netherlands. *International Journal of Science Education*, 15 (2), 175-197.
- KLAHR, D. and SIMON, H.A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125, 524-543.
- LAW P.M. (1996). Investigative work in the Science National currículo. *School Science Review* 77, 17-25.
- LAWSON, A. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 165-187.
- MALONEY, D. (1994). Research on problem solving: Physics. *Handbook of Research in Science teaching and learning* . Gabel D. (ed.). McMillan Publishing Company.
- MATTHEWS, M (1994). *Science teaching: The role of the history and philosophy of science*, Routledge, New York.
- MATTHEWS, M (1998). The nature of science and science teaching, en Fraser B.J. y Tobin K.G. (editors) *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers: London.

- McCOMAS, W.F. (2000). *The Nature of Science in Science Education Rationales and Strategies*. Kluwer Academic Publishers. London.
- MILLAR, R.H. (1994). What is Scientific Method? in R. Levinson, *Teaching Science*, London: Routledge, 41-48.
- MILLAR, R.H. and DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- MORTIMER, E.F. (1996), Constructivismo, mudança conceptual e ensino de ciencias: para onde vamos?, *Investigações em Ensino de Ciências* vol. 1, 20-39.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1996). *National Science Education Standards*, Washington, D.C.: National Academy Press.
- PFUNDT & DUIT R. (1998). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education (4th ed.)*. Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- PRAIN, V. and HAND, B. (1999). Students perceptions of writing to learn in science: Implications for practice and research. *Journal of Research in Science Teaching* 31, 969-983.
- REIF, F. and LARKIN J.H. (1991). Cognition in scientific and everyday domains: Comparisons and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 733-760.
- RIVARD, L.P. (1994). A review of writing to learn in science: Implications for practice and research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 969-983.
- SALINAS, J., COLOMBO, L. y PESA, M. (1996). Modos espontáneos de razonar: Un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 209-220.
- SEQUEIRA, J.B. (1999). Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza de ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências* vol. 4 (3), www.if.ufrgs/public/ensino/revista.htm.
- SONG, J. and BLACK, P.J. (1992). The effects of concept requirements of task contexts on pupils' performance in control variables. *International Journal of Science Education*, 14, 83-93.
- STRIKE, K.A. and POSENER, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change, in R.A. Duschl & R.J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*, 147-176, Albany: State University of New York Press.
- VARELAS, M. (1996). Between theory and data in a seventh-grade science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 229-263.
- VIGOTSKY, L.S. (1978). *Mind in Society: The development of higher psychological process*. In M. Cole, V. Jonh-Steiner, S. Scribner & E. Souberman (Eds.). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- WATSON, J.R., GOLDSWORTHY, A. and WOOD-ROBINSON, V. (1999). What is not fair with investigations? *School Science Review* 80, 101-106.

Recebido em: 02.08.2002

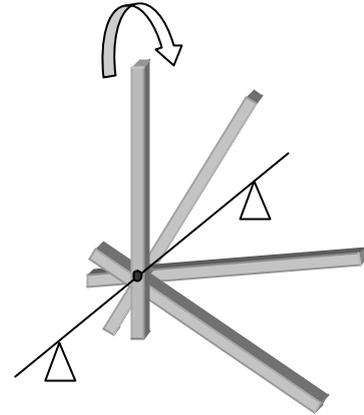
Aceito em: 01.10.2003

ANEXO

Movimiento de rotación de una varilla:

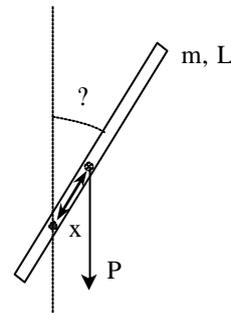
Una varilla homogénea puede girar libremente en torno a un eje horizontal fijo situado a una determinada distancia por debajo de su centro de masas. La situamos sobre la vertical y, por medio de un pequeño desplazamiento la hacemos rotar. Sin realizar cálculo matemático alguno: a) Razona de qué magnitudes físicas dependerá la aceleración angular de la varilla durante la rotación, así como la forma que tendrá esta dependencia.

b) Analiza las situaciones de especial relevancia física que dentro del contexto del problema consideres que se puedan producir para ciertos valores característicos de las variables descritas en el apartado anterior.



a) y en *cursiva b*). A priori, podemos esperar que todas las magnitudes físicas cuyo aumento incremente el momento respecto al eje de giro de las fuerzas que actúan sobre la varilla aumenten su aceleración angular, mientras que aquellas magnitudes que al incrementarse aumenten la inercia de la varilla a la rotación, disminuyan la aceleración angular de la misma.

En lo que al momento de las fuerzas se refiere, la única fuerza que realizará momento será el peso que actúa sobre el centro de masas de la varilla, pues las otras fuerzas existentes, reacciones en el eje, por aplicarse en el mismo eje de rotación no dan lugar a momento alguno. En consecuencia, bajo este punto de vista, habrá que pensar que la masa m , la aceleración de la gravedad g , la distancia x entre el punto de aplicación del peso (centro de masas) y el eje de giro, y la posición angular θ medida desde la vertical afectará a la aceleración angular α . Así, un incremento de m , g y x deberían dar lugar a que α aumente.



Para la variable x , se aprecia que el momento de la fuerza es máximo cuando el eje de giro se encuentra en el extremo de la varilla y x es máxima, y es nulo cuando el eje de giro pasa por el centro de masas y x es cero. En este último caso, la varilla no rotaría al desplazarla ligeramente de su posición inicial de equilibrio.

La influencia de la posición angular θ se debe a que el momento de la fuerza aplicada es tanto mayor cuanto más perpendicular a la varilla sea su línea de acción, y es nulo cuando son paralelas, esto es θ irá aumentando desde la vertical (posición superior) hasta hacerse máximo al pasar por la horizontal (peso y varilla perpendiculares) para luego disminuir hasta anularse al pasar por la vertical (posición inferior, peso y varilla paralelos). Conviene resaltar que la aceleración es nula cuando la velocidad angular es máxima.

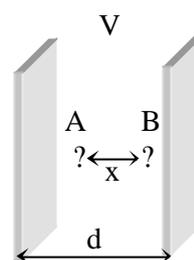
Por otro lado, habrá que tener en cuenta que un incremento de la masa m , de la longitud L y de la distancia x entre el eje de giro y el centro de masas da lugar a un aumento de la resistencia que el sólido ofrece a cambiar su estado de movimiento de rotación, es decir, un aumento de su inercia a la rotación, representada por su momento de inercia I , y por tanto disminuirá la aceleración angular α . En el caso de la longitud L y de la distancia x , el aumento de la inercia se debe a que la masa de la varilla se distribuye a mayor distancia del eje de giro.

Para las variables m y x , adivinamos dos efectos opuestos sobre la aceleración angular α , por lo que, sin resolver el problema utilizando las ecuaciones pertinentes, no parece que del análisis

cualitativo de la situación podemos inclinarnos por uno u otro. Para el caso concreto de la masa, sin embargo, basándonos en la equivalencia de la masa inercial y la gravitacional podríamos aventurar que ambos efectos se contrarrestarán y, en definitiva, la aceleración no variará con esta magnitud.

Movimiento de una carga puntual en el interior de un condensador: Un condensador de placas paralelas se carga utilizando una batería y, una vez cargado, se desconecta de ella. Una carga positiva, cuyo peso despreciaremos en todo momento frente a la interacción eléctrica, se libera desde el reposo en un punto A próximo a la placa positiva. Sin realizar cálculo matemático alguno: a) Razona de qué magnitudes físicas dependerá la velocidad con la que la carga llegará a un punto B próximo a placa negativa, así como la forma que tendrá esta dependencia. b) Analiza las situaciones de especial relevancia física que dentro del contexto del problema consideres que se puedan producir para ciertos valores característicos de las variables descritas en el apartado anterior.

a) Teniendo en cuenta que el movimiento de la partícula, despreciado su peso, sólo podrá producirse como consecuencia de la interacción eléctrica, podemos esperar que todas las magnitudes físicas cuyo aumento incremente esta interacción, aumenten la aceleración de la partícula y, en consecuencia, la velocidad con la que llegue al punto B, mientras que aquellas magnitudes que al incrementarse aumenten la resistencia al cambio de movimiento, disminuyan la velocidad de la misma en B. La velocidad en B también se verá incrementada cuando se aumente el tiempo durante el cual es acelerada, es decir, el tiempo de acción de la fuerza eléctrica.



La interacción eléctrica será tanto mayor cuanto mayores sean la carga q de la partícula en cuestión y el campo eléctrico E entre las placas, el cual, a su vez, es tanto mayor cuanto mayor sea la carga por unidad de área acumulada en las placas, y, por tanto, tanto mayor cuanto mayor sea la relación V/d , con V la diferencia de potencial entre las placas y de igual valor que la fem de la batería utilizada para su carga, y d la distancia entre ellas. Así, un incremento de la fem de la pila (un incremento de V) dará lugar a una mayor cantidad de carga almacenada sobre las placas, es decir, a aumento de E y, en consecuencia de la velocidad v_B de la partícula cargada al llegar al punto B, pero un incremento de la distancia d entre placas, como el condensador se ha desconectado de la batería y no pueden fluir más cargas hacia sus placas tampoco podrá variar el campo E entre ellas y, por tanto, no se verá alterada la velocidad de la partícula. Esto es, aumenta d , E se mantiene constante y así aumenta V . El aumento de la superficie S , que se realiza una vez cargado el condensador y retirada la batería, supone una disminución de la densidad de carga en las placas (no puede entrar más carga) por lo que el campo será menor (la diferencia de potencial entre placas, en este caso, sería menor que la fem de la pila) y la velocidad a analizar también sería más pequeña. El valor del campo entre las placas del condensador también se ve alterado por el medio dieléctrico que ocupa ese espacio. Así cuanto mayor sea la permitividad relativa ϵ_r , consecuencia de la polarización del material menor será el campo entre placas y menor la velocidad en el punto B, siempre y cuando el dieléctrico no afecte a la movilidad de la carga, (la diferencia de potencial entre placas, en este caso, sería menor que la f.e.m de la pila). La distancia horizontal que verdaderamente influye en la velocidad en cuestión, es la distancia x que separa las posiciones inicial A y final B, o sea, el espacio recorrido por la partícula, de manera que cuanto mayor sea este durante más tiempo actuará la fuerza eléctrica y mayor será la velocidad v_B .

Por otro lado, si consideramos para nuestro análisis tal y como señala el enunciado, que el peso es despreciable frente a la interacción eléctrica, no deberemos tener en cuenta el efecto gravitacional de la masa, aunque sí su efecto inercial, es decir, a mayor masa m , mayor resistencia al cambio de movimiento y menor cambio en su velocidad.

b) Para la variable x , se tendrá que cuando esta es cero, la partícula no se habrá movido de su posición inicial por lo que la velocidad deberá de obtenerse cero y la velocidad será máxima cuando el movimiento se dé desde la misma placa positiva hasta impactar con la negativa, es decir cuando x coincida con d .