

Pesquisa em Ensino de Física

Efectos sobre la capacidad de resolución de problemas
de “lápiz y papel” de una enseñanza-aprendizaje de la física
con una estructura problematizada
(Effects upon the ability of “paper and pencil” problem solving of physics teaching
and learning with a problem-based structure)

Carlos Becerra-Labra¹, Albert Gras-Martí² y Joaquín Martínez-Torregrosa³

¹Universidad de Talca, Instituto de Matemática y Física, Talca, Chile

²Universidad de Alicante, Departamento de Física Aplicada, Alicante, España

³Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas, Universidad de Alicante, Alicante, España

Recibido em 8/6/2009; Revisado em 17/12/2009; Aceito em 21/12/20-0; Publicado em 17/1/2011

El presente artículo contiene los resultados obtenidos de una investigación realizada para estudiar los efectos que produce el modelo de enseñanza-aprendizaje de la física con una estructura problematizada en la capacidad para resolver problemas y, en las actitudes e intereses de los estudiantes del primer curso universitario. Este artículo da una respuesta fundamentada a la pregunta: con una enseñanza-aprendizaje problematizada de la física, ¿se produce realmente una mejora significativa en la capacidad de resolución de problemas, y ésta, se mantiene tiempo después de la instrucción recibida?

Palabras-clave: modelo de enseñanza-aprendizaje problematizada de la física, resolución de problemas de física de “lápiz y papel”, modelo enseñanza de las ciencias como investigación dirigida.

We discuss the results of a research conducted to study the effects of problem-based teaching and learning of Physics on the ability of students in problem solving and in their attitudes and interest towards the subject. First-year university students are involved in the study. We try to answer this basic question: can a problem-based instruction of Physics improve the ability of students in problem solving and does this ability still remain some time after the end of the course?

Keywords: problem-based teaching and learning of physics, pencil and paper physics problem solving, science teaching model as guided research.

1. Introducción y planteamiento del problema de estudio

Dadas las intrínsecas relaciones entre sociedad y educación, se atribuye a esta última la función de capacitar a las nuevas generaciones para su integración eficaz en la sociedad. Ésta fue la finalidad asignada a la institución llamada “Escuela”. Pero la rápida evolución de la sociedad y su forma de vida, exigen a los educadores el análisis y la reflexión atenta para que la educación ofrezca la preparación adecuada en cada momento histórico. La historia de la ciencia de la educación nos muestra cómo, ante los grandes cambios en el orden científico, tecnológico, religioso, económico, social, cultural y/o artístico, se han promovido cambios paralelos en la educación.

Pues bien, la globalización de la economía y la rapi-

dez en la evolución científica, tecnológica y organizacional, son realidades irrefutables en el mundo contemporáneo e imponen nuevos retos a las instituciones educativas tanto preuniversitarias (primarias y secundarias) como universitarias, a las que se les reclaman cambios sustanciales en los procesos docentes educativos y en los modelos para la formación de los ciudadanos y profesionales del siglo XXI.

Ante este nuevo escenario, las instituciones educativas deben asumir este nuevo desafío, propiciando un proceso de cambio cultural y de las prácticas de la labor docente, en el contexto de un currículo orientado al desarrollo de competencias [1-3]; donde el estudiante que aprende debe ser el centro del sistema educativo. De un modelo centrado en el profesor que enseña (paradigma educativo tradicional), se debe transitar a un modelo centrado en el estudiante que aprende (nuevo

¹E-mail: cbecerra@utalca.cl.

paradigma educativo). Este cambio de paradigma fomentará nuevas prácticas pedagógicas asociadas a la docencia que paulatinamente se irán imponiendo.

La docencia en este nuevo paradigma educativo debe promover el espíritu investigativo, desarrollar la capacidad de enfrentarse y resolver problemas de manera que el estudiante adquiera las competencias y capacidades que le permita la búsqueda sistemática y permanente del conocimiento. Esto implica la revisión y aplicación de nuevos modelos pedagógicos, trasladando el énfasis puesto actualmente en la transmisión del conocimiento, hacia el proceso de su generación y al desarrollo de competencias que son fundamentales en nuestra actual sociedad.

En todo el mundo, una de las aspiraciones de la enseñanza de las ciencias (física, biología, química, etc.) es “enseñar a los estudiantes a enfrentarse y resolver problemas” [4, 5]. En uno de nuestros artículos [6], mencionamos que dicha actividad quedaba, casi exclusivamente, reducida en la enseñanza habitual de la física a la resolución de problemas de “lápiz y papel” al final de los temas o capítulos. Sin embargo, el fracaso más o menos generalizado de los estudiantes en la resolución de problemas, especialmente, en el primer año universitario, nos llevó a cuestionar sí, de verdad, se les está enseñando a resolver problema. Pues bien, tras una investigación publicada en el 2005 [6], concluimos que no se enseña a los estudiantes a enfrentarse y resolver verdaderos problemas, sino que se les explican soluciones ya hechas, transmitiendo serias deficiencias metodológicas y actitudinales que hacen enormemente difícil que puedan tener éxito ante nuevos problemas. En ese mismo artículo, propusimos como una de las posibles soluciones al problema planteado, “organizar toda la enseñanza-aprendizaje de la física con una estructura problematizada”, donde la resolución de problemas de “lápiz y papel” adquiere el estatus de “situaciones de puesta a prueba” de “los conceptos y modelos inventados” para avanzar en la solución a problemas más amplios (problemas fundamentales o estructurantes).

En otro de nuestros artículos [7], publicamos un estudio de investigación que nos llevó a concluir que una enseñanza-aprendizaje problematizada de la física en el primer curso universitario produce una mejora significativa en el aprendizaje conceptual y, en las actitudes e intereses de los estudiantes hacia la física. Pues bien, en el presente artículo vamos a mostrar el resultado del estudio de investigación realizado sobre los efectos que produce nuestro modelo de enseñanza-aprendizaje de la física en la capacidad para resolver problemas de “lápiz y papel”. Vamos a obtener evidencias experimentales que nos permita concluir que una enseñanza-aprendizaje problematizada de la física produce realmente una mejora significativa en la capacidad de resolución de problemas en los estudiantes, y ésta, se mantiene tiempo después de la instrucción recibida.

En nuestra opinión, nuestro modelo de enseñanza-aprendizaje de la física fomenta y desarrolla algunas de las competencias y capacidades que son fundamentales en el nuevo paradigma educativo, promueve el espíritu investigativo, desarrolla y fomenta el pensamiento lógico, analítico y crítico, desarrolla la capacidad de enfrentarse y resolver problemas y genera oportunidades adecuadas para que los estudiantes aprendan qué hacer, cómo pensar, ante una situación problemática.

2. Fundamentación teórica

Como mencionamos anteriormente, la sociedad del siglo XXI requiere de la formación de ciudadanos y profesionales con ciertas características y competencias que respondan a un mundo global cambiante, con capacidades y competencias, entre otras, para aprender a aprender, con capacidades para enfrentarse y resolver problemas, con preocupación por la calidad y abiertos a los cambios.

En nuestra opinión, es fundamental que la docencia, en especial la secundaria y universitaria, en el nuevo paradigma educativo se debe caracterizar por promover el espíritu investigativo, desarrollar la capacidad de enfrentarse y resolver problemas de manera que el estudiante adquiera las herramientas y capacidades que le permita la búsqueda sistemática y permanente del conocimiento, desarrollar el pensamiento lógico, analítico, crítico y creativo.

Por tanto, todos los estudiantes, y no sólo unos pocos, necesitan aprender cómo pensar, razonar y comunicar eficazmente, cómo solucionar problemas, y trabajar con grandes cantidades de datos, seleccionando los pertinentes para la toma de decisiones. No sólo es importante la comprensión profunda del contenido conceptual de las distintas disciplinas, sino también (y simultáneamente) el desarrollo de destrezas complejas de pensamiento lógico y racional necesarias para desenvolverse competentemente en dichas materias [8, 9]. Como señala UNESCO [4], la enseñanza-aprendizaje de las ciencias debe fomentar y desarrollar tanto una cultura tecnocientífica como la capacidad de enfrentarse y resolver problemas.

En nuestra opinión, nuestra línea de investigación didáctica reviste una importancia fundamental en el nuevo paradigma educativo ya que no sólo fomenta y desarrolla competencias y capacidades cognitivas (saberes científicos y tecnológicos) y procedimentales, sino también, competencias y habilidades transversales y sociales (habilidades y competencias para la vida), como por ejemplo, el desarrollo del pensamiento lógico, analítico, crítico y creativo [10]. Garret [11] señala claramente cómo existe una antigua y ampliamente sostenida creencia de que resolver problemas es una actividad fundamental de la ciencia, que la diferencia de otras actividades humanas. Este autor plantea que por

el contrario, el proceso de resolución de problemas trasciende el campo científico pues incide en otras esferas de la vida humana a nivel individual y social, siendo considerado como una expresión del desarrollo del pensamiento creativo.

2.1. Acerca de los problemas y su resolución

En uno de nuestros artículos [6], nos hicimos la siguiente pregunta: ¿qué se entiende por problema? Para dar una respuesta fundamentada, analizamos el punto de vista de varios investigadores que han abordado la cuestión. Existe un consenso, entre la mayoría de ellos, en considerar un problema como una situación que presenta dificultades para las cuales no hay soluciones evidentes [12-16]. La definición de Krulik y Rudnik [17], resume bien este consenso: “un problema es una situación, cuantitativa o no, de la que se pide una solución, para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla”.

Por tanto, “resolver un problema”, significa “encontrar una solución a una situación problemática que es relativamente nueva para la persona que trata de resolverla”, lo que implica tener, en cierto grado, desarrollada ciertas habilidades y capacidades, por ejemplo, la habilidad y capacidad para analizar, comprender y acotar el problema, para aplicar los conocimientos previos y sintetizarlos en torno al problema de se resuelve, para tomar decisiones acerca de cómo proceder, para evaluar las medidas adoptadas en el proceso de resolución, y finalmente, para analizar el resultado obtenido [5, 6, 16, 18-20].

Algunos investigadores en resolución de problemas han llegado a la conclusión de que muchos estudiantes pueden tener suficiente conocimientos previos en torno al problema a resolver, pero fracasan en su resolución [5, 21]. Las principales dificultades de los estudiantes en la resolución de problemas están relacionadas con un bajo grado de desarrollo de ciertas capacidades que son fundamentales en todo proceso de resolución de problemas, por ejemplo, vincular sus conocimientos previos con la situación problemática, realizar un análisis cualitativo de la situación, elaborar una estrategia de solución, llevar a cabo los cálculos adecuados. Sobre la base de un análisis de las investigación en resolución de problemas en física, Maloney [19] concluyó que el éxito de los estudiantes para resolver problemas pasa por la elaboración de una estrategia de solución, por un análisis cualitativo del problema (haciendo un bosquejo del problema y reconstruyéndolo con sus propias palabras) y, por sus capacidades de relacionar el problema con las ecuaciones y leyes que se ajusten a su solución.

A continuación, proponemos “un modelo de resolución de problemas” que contribuye a desarrollar la capacidad para enfrentarse y resolver problemas de “lápiz

y papel” (las etapas del modelo se muestran en la Tabla 1). La mayoría de las etapas o características de nuestro “modelo de resolución de problemas” son coherentes con las etapas o características de la metodología usada por las ciencias experimentales.

Es necesario destacar que este conjunto de etapas o características (“indicadores de resolución”) no se debe aplicar como una secuencia cerrada y lineal (paso a paso y todas las etapas) [5, 22, 23], sólo proponemos una estructura que sea “orientadora” y “flexible”, con la finalidad que ayude al estudiante a desarrollar su propia estrategia de resolución. En nuestra opinión, las etapas (o características) de una estrategia de resolución de problemas va a depender del tipo problema que resuelve. Por tanto, es esencial, fomentar y promover que el estudiante desarrolle su propia estrategia de resolución.

Algunas de las etapas o características mencionadas en la Tabla 1, como “el planteamiento cualitativo de la situación”, “la elaboración de una estrategia de solución” e “interpretación de los resultados”, son consideradas como esenciales desde otras concepciones teóricas [5, 6, 16, 24, 25], y sus carencias no sólo evidenciaría que no se abordan los problemas como tales, sino que mostraría deficiencias “absolutas” desde cualquiera de las tendencias actuales de la investigación didáctica sobre resolución de problemas.

“El planteamiento cualitativo de la situación” y “la emisión de hipótesis” son de considerable valor en el aprendizaje de las ciencias, ya que permiten no sólo manejar los conceptos sino “hacer ciencia” [26, 27].

A continuación, a modo de ejemplo, presentamos un problema resuelto en coherencia con nuestro “modelo de resolución de problemas”.

2.2. Problema típico

Una camioneta transporta un cajón con manzanas en una calle plana paralela a la horizontal terrestre. El cajón va sobre su plataforma trasera sin ningún tipo de amarre. Suponga que el coeficiente de rozamiento cinético y estático entre la plataforma y el cajón es μ_c y μ_e , respectivamente. ¿Cuál es la máxima aceleración con que puede arrancar la camioneta, que se encuentra en reposo esperando la luz verde del semáforo, de forma que el cajón no se deslice sobre la plataforma?

2.3. Una posible solución

Analizar y comprender cualitativamente la situación problemática

- Consideremos una camioneta en reposo sobre una calle plana paralela a la horizontal terrestre. Sobre la plataforma de la camioneta y sin ningún tipo de amarre se encuentra un cajón de masa $m_{cajón}$ en reposo.

Tabla 1. Una estructura orientadora de referencia y flexible.

“Indicadores de resolución”
<p>1. Analizar y comprender cualitativamente la situación problemática. Lea comprensivamente la situación problemática e inicie su resolución con una descripción interpretativa de lo que ocurre, analizando e imaginando la situación física, construyendo un dibujo-esquemático interpretativo (si el problema tiene una figura realice igual el dibujo-esquemático como Ud. y/o su equipo interpreta la situación problemática). <i>Formule la siguiente pregunta orientadora para reflexionar (y discutir con sus compañeros, si está trabajando en equipo): ¿qué condiciones vamos suponer para resolver el problema? En esta parte, se expresa las condiciones que se van a suponer para acotar y definir en forma precisa el problema, formulando en términos físico-matemáticos qué es lo que se trata de determinar (operativización). Si las condiciones y lo que se va a determinar vienen señaladas en forma explícita en el problema, analizarla y discutirla.</i></p> <p>2. Formulación de hipótesis Formule la siguiente pregunta orientadora para reflexionar (y discutir, si está trabajando en equipo): ¿de qué factores depende la magnitud física buscada? Activar los conocimientos previos y pertinentes para formular una hipótesis sobre los factores de los que puede depender la magnitud física buscada. A continuación, formule la siguiente pregunta orientadora para reflexionar (y discutir, si está trabajando en equipo): ¿De qué forma depende la magnitud buscada de los factores propuestos?</p> <p>3. La elaboración, con carácter tentativo, de un posible estrategia de resolución antes de proceder a ésta, para posibilitar una contrastación rigurosa de la(s) hipótesis, y mostrar su coherencia con el cuerpo de conocimientos que se dispone. No presentar la estrategia como algo evidente o seguro.</p> <p>4. La resolución del problema como la puesta en práctica de la estrategia planteada, verbalizando lo que se hace y evitando operativismos carentes de significación física.</p> <p>5. El análisis de los resultados obtenidos a la luz de la(s) hipótesis elaborada(s) y su coherencia con el cuerpo de conocimientos disponible. Siempre poniendo en duda los resultados obtenidos.</p> <p>6. La consideración de las perspectivas abiertas tras la resolución, contemplando, por ejemplo, la posibilidad de abordar el problema a un nivel de mayor complejidad o de abordar nuevas situaciones de interés práctico o teórico. Esta reflexión sobre nuevas perspectivas, debería incluir una breve recapitulación sobre las dificultades encontradas y la forma en que se han superado (lo que contribuye a mejorar la capacidad para enfrentarse a nuevos problemas).</p>

• Para que el cajón no se deslice sobre la plataforma, debe moverse de la misma manera que la camioneta, es decir, deben tener igual velocidad y aceleración en todo instante. Sólo cuando se cumple esta condición, el cajón y la camioneta permanecen en reposo relativo. Por tanto, la aceleración de arranque de la camioneta debe ser igual a la aceleración del cajón, es decir

$$a_{camioneta} = a_{cajon} \equiv \mathbf{a}.$$

Para avanzar en el análisis y comprensión del problema, vamos a formular la siguiente “**pregunta orientadora**”: ¿cómo se genera o produce la aceleración en el cajón?

Dicha aceleración es producida por la fuerza de roce estática que ejerce la plataforma sobre el cajón cuando la camioneta acelera (la plataforma de la camioneta “tira al cajón hacia adelante” cuando la camioneta acelera). Por tanto, esta fuerza de roce estática tiene la misma dirección y sentido que la aceleración de la camioneta.

Por otro lado, es importante señalar que la aceleración con que puede arrancar la camioneta es máxima, sólo cuando la fuerza de rozamiento estática que ejerce la plataforma sobre el cajón es máxima, es decir

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_{max} \quad \text{cuando} \quad f_e = f_{e,max} = \mu_e N.$$

Comentario: el coeficiente de rozamiento cinético entre la plataforma y el cajón, es una información que no se usa en la resolución de este problema bajo las condiciones supuestas. Esta situación, “dar información que no se usa en la resolución del problema”, tiene como finalidad desarrollar y fomentar, en el estudiante, la capacidad de seleccionar sólo la información que sea pertinente para la resolución del problema.

Operativización (*formular en términos físico-matemáticos qué es lo que se busca*)

Nuestra finalidad es “encontrar la aceleración máxima con que puede arrancar la camioneta para que el cajón no se deslice sobre su plataforma, es decir: $\mathbf{a} = \mathbf{a}_{max}$ ”.

Observación: con la información disponible hasta el momento, se sugiere empezar a construir un dibujo-esquemático interpretativo. Continúe completándolo con la información que vaya obteniendo en las siguientes etapas del proceso de resolución, para terminar en un dibujo-esquemático similar al de la Fig. 1.

Una posible hipótesis

Para construir una hipótesis con la información disponible, conviene formularnos la siguiente pregunta orientadora: ¿de qué factores depende la aceleración máxima con que puede arrancar la camioneta para que el cajón no se deslice sobre su plataforma?

La aceleración del cajón (como hemos mencionado anteriormente) es producida sólo por la fuerza de roce estática que ejerce la plataforma sobre el cajón cuando la camioneta acelera y, esta aceleración es máxima sólo cuando la fuerza de rozamiento estática toma su valor máximo.

Por tanto, hipótesis propuesta para este problema: “la aceleración máxima con que puede arrancar la camioneta para que el cajón no se deslice sobre su plataforma debería depender sólo del coeficiente de roce estático entre las superficies que están en contacto (cajón-plataforma) y, de la aceleración debida a la gravedad terrestre, es decir, $\mathbf{a}_{max} = \mathbf{a}_{max}(\mu_e, g)$ ”.

En un mismo lugar de la superficie de la Tierra, a

mayor coeficiente de roce estático (entre plataforma-cajón) mayor aceleración puede arrancar la camioneta.

Conviene formularnos la siguiente pregunta orientadora: ¿de qué forma depende de a_{max} de μ_e ?

Una posible estrategia de resolución

Vamos a encontrar la aceleración con que puede arrancar la camioneta para que el cajón no se deslice sobre su plataforma a través de la segunda ley de Newton, la cual relaciona fuerzas y aceleración.

El cajón con manzanas es el cuerpo que nos interesa que no se deslice, por tanto, es "el cuerpo de estudio". De acuerdo a lo anterior, vamos obtener su ecuación de movimiento a través de la segunda ley de Newton. Para ello, tenemos que identificar todas las fuerzas que actúan sobre el cajón bajo las condiciones supuestas anteriormente y construir su diagrama de cuerpo libre.

La resolución

Para construir el diagrama de cuerpo libre del cajón, tenemos que identificar todas las fuerzas que actúan sobre éste. Preguntas orientadoras para construir el diagrama de cuerpo libre: ¿cuántas fuerzas actúan sobre el cajón bajo las condiciones supuestas?, ¿cuáles (identificarlas)? y ¿quiénes las ejercen?

Las fuerzas que actúan sobre el cajón, despreciando la resistencia del aire, son tres, éstas son las siguientes:

La fuerza de gravedad con que la Tierra atrae al cajón (el peso del cajón), \mathbf{P}_c .

La fuerza normal (de sustento) que ejerce la plataforma sobre el cajón (ésta aparece debido a que el cajón se apoya con su peso sobre la plataforma y ésta reacciona (tercera ley de Newton)), N_c .

La fuerza de rozamiento estática que ejerce la plataforma sobre el cajón, \mathbf{f}_e , (esta fuerza sólo aparece cuando acelera la camioneta) y tiene la dirección y sentido de la aceleración.

Por tanto, el diagrama de cuerpo libre del cajón se muestra en la Fig. 1.

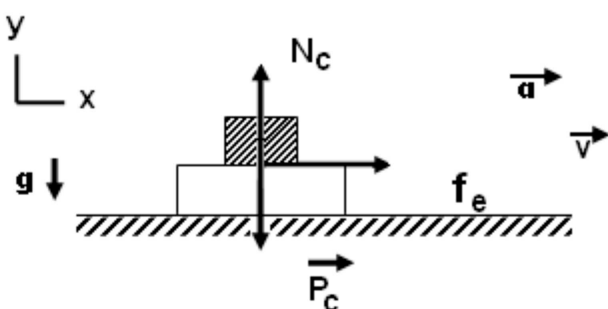


Figura 1 - Diagrama de cuerpo libre del cajón.

La ecuación de movimiento del cajón (segunda ley de Newton), es

$$\mathbf{f}_e + \mathbf{P}_{cajon} + \mathbf{N} = m_{cajon} \mathbf{a}. \quad (1)$$

Para transformar esta ecuación vectorial (1) en un sistema de ecuaciones escalares, tenemos que darnos, un sistema de ejes coordenadas cartesianas ortogonal $[X, Y]$; vamos a colocar la dirección del eje (+ X) en la dirección de movimiento de la camioneta, como se muestra en la Fig. 1. Por tanto, las componentes de la ecuación vectorial (1) con respecto al sistema de ejes coordenados dado, es

$$F_x : f_e = m_c a, \quad (2)$$

$$F_y : N - m_c g = 0. \quad (3)$$

Sabemos que la aceleración de arranque de la camioneta es máxima, $a = a_{max}$, sólo cuando la fuerza de rozamiento estática que ejerce la plataforma sobre el cajón toma su valor máximo, es decir, $f_e = f_{e,max} = \mu_e N$. Aplicando esta condición a la Ecuación (2), toma la siguiente forma

$$f_{e,max} = m_c a_{max} \quad \text{ó} \quad \mu_e N = m_c a_{max}. \quad (4)$$

Despejando la magnitud de la fuerza normal de la Ecuación (3) y reemplazándola en la Ecuación (4), la aceleración máxima, es

$$a_{max} = \mu_e g. \quad (5)$$

El resultado expresado por la Ecuación (5) muestra que la aceleración máxima con que puede arrancar la camioneta para que el cajón no se deslice sobre su plataforma depende del coeficiente de rozamiento estático entre las superficies que están en contacto (cajón-plataforma) y, la aceleración debida a la gravedad terrestre, como se había supuesto. Para un mismo punto en la Tierra, la aceleración máxima de arranque de la camioneta varía linealmente con el coeficiente de roce estático (cajón-plataforma). Se sugiere expresar el resultado analítico del problema (la Ecuación (5)) en forma gráfica, luego interpretarla, acotarla y realizar predicciones.

Observaciones

- Si la información proporciona en el problema es numérica (datos o valores numéricos), se reemplaza en la Ecuación (5) sólo al final del proceso de resolución.
- A partir de este problema se puede plantear, de inmediato, otros problemas semejantes, por ejemplo:

Una camioneta se está moviendo sobre una carretera con una cierta velocidad. Sobre su plataforma transporta un cajón sin ningún tipo de amarre. El coeficiente de rozamiento cinético y estático entre la plataforma y el cajón es μ_c y μ_e , respectivamente. ¿Cuál es la máxima aceleración con que puede frenar la camioneta de forma que el cajón no se deslice sobre su plataforma?

3. Hipótesis de trabajo y diseño experimental

En el artículo publicado en el 2005 [6], mencionamos que la resolución de problemas de “lápiz y papel” es una actividad a la que se suele dedicar mucho tiempo en el aula y fuera de ella, esto se debe a que se la considera tanto como un medio de aprendizaje como instrumento de evaluación. Además, en ese mismo artículo realizamos un estudio profundo sobre cuáles podrían ser las causas del fracaso de los estudiantes en la resolución de problemas de “lápiz y papel”.

Recordemos que en nuestro modelo de enseñanza-aprendizaje de la física [7], los conceptos y teorías son introducidos, por los estudiantes y profesor, como tentativas, como hipótesis fundadas, que deben ser puestas a prueba, tanto a través de su capacidad predictiva en situaciones de prácticas de laboratorio y en el abordaje de situaciones problemáticas concretas y contextualizadas, como a través del establecimiento de su coherencia con la globalidad de los conocimientos ya establecidos por investigaciones precedentes. La realización de prácticos de laboratorio y la resolución de problemas de “lápiz y papel” se integran con sentido, junto a la introducción de conceptos y sus relaciones, dentro una estructura problematizada.

La hipótesis de trabajo que vamos a plantear en la presente investigación para avanzar en una solución del problema planteado en este artículo, puede formularse de la siguiente manera: “la enseñanza-aprendizaje de la física con una estructura problematizada produce un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas, y una mejora de los “indicadores de resolución” establecidos en la Tabla 1”.

En concreto, esperamos que los estudiantes del grupo experimental, ante un problema planteado, muestren los siguientes comportamientos:

1. No caigan en la manipulación inmediata de fórmulas, datos e incógnitas, actitud típica del “operativismo ciego”. Por el contrario, cabe esperar que:

2. “Inicien la resolución con un planteamiento cualitativo de la situación”, es decir, descripción interpretativa de lo que ocurre, precisando en qué condiciones se va resolver el problema, y formulando en términos físico-matemáticos qué es lo que se busca (operativización correcta).

3. “Expliciten una posible estrategia de resolución antes de proceder a ésta”.

4. “Realicen la resolución como la puesta en práctica de la estrategia planteada”, fundamentando y verbalizando lo que hace.

5. “Analicen los resultados obtenidos”.

Todos los aspectos que acabamos de enumerar, responden, en buena medida, a la mayoría de las características mencionadas en la Tabla 1.

El aumento significativo en la capacidad para resolver problemas se traducirá en la práctica, en que los

estudiantes del grupo experimental (GE) obtendrán:

6. Un porcentaje de resultados correctos notable y significativamente superior al de los estudiantes del grupo de control. Por último, cabe esperar también:

7. Que no caigan en la actitud habitual de “reconocer o abandonar”, típica de la metodología de la superficialidad [28].

Para verificar que se ha producido un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas, y una mejora de los “indicadores de resolución”, supone comprobar que los siete aspectos señalados anteriormente son contemplados adecuadamente en las resoluciones que realizan los estudiantes del grupo experimental (GE), es decir, que el grado de cumplimiento de éstos es significativamente superior al que caracteriza las resoluciones de los estudiantes del grupo de control (GC). Por tanto, para probar que se ha producido un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas en los estudiantes GE, se ha procedido de la siguiente manera:

1) Se ha realizado una prueba de problemas de “lápiz y papel” (en situación de examen) consensuada en su totalidad con el profesor del grupo de control. Esta prueba se aplicó a los estudiantes de ambos grupos (experimental y de control) en la penúltima semana de clases.

Ejemplo de problemas de la Prueba (contestada en situación de examen).

1. Un avión que vuela horizontalmente a una altura H_0 y con velocidad constante u deja caer una bomba. En la dirección de vuelo del avión, y al nivel de la superficie terrestre, se encuentra un depósito de armamento. ¿A qué distancia horizontal deberá estar el avión del depósito de armamento en el instante que deja caer la bomba para que impacte sobre depósito?

2. Un muchacho de masa m esta en reposo en punto más alto de un montículo semiesférico de radio R y sin roce. Luego se deja caer, ¿a qué altura deja tener contacto el muchacho con la pista semiesférica?

El nivel de dificultad de ambos problemas es el habitual en el primer curso de física universitaria de la carrera de agronomía.

1) Para valorar en qué medida se mantiene la capacidad de resolución de problemas de “lápiz y papel” tiempo después de la instrucción recibida, hemos diseñado tres pruebas similares a la prueba del punto anterior. Estos instrumentos se han aplicado tanto a los estudiantes del GE como a los estudiantes del GC, a los tres, seis y doce meses después de haber cursado y aprobado la asignatura de física.

Las características que hemos tomado en cuenta para analizar la manera en que los estudiantes resuelven problemas en esta investigación, son las que se muestran en el cuestionario 1. No hemos tomado en cuenta todas las etapas o características señaladas en la Tabla 1 (“indicadores de resolución”) debido a los estudiantes

del Grupo de Control están cursando la asignatura de física con la metodología que se usa habitualmente en el primer curso de física universitaria en Chile. Sólo hemos tomado en cuenta para analizar la resolución de los estudiantes las características señaladas en el cuestionario 1, éstas son, en su mayoría, considerados como esenciales desde varias concepciones teóricas sobre resolución de problemas de "lápiz y papel" [5, 6, 16, 24, 25]; la carencia de dichas características no sólo evidenciaría que no se abordan los problemas como tales, sino que evidenciará deficiencias "absolutas" desde cualquiera de las tendencias actuales de la investigación didáctica sobre resolución de problemas.

Para el análisis de los datos recogidos, contabilizaremos el porcentaje de respuestas afirmativas y negativas para cada una de las preguntas del cuestionario 1. Presentaremos los resultados por separado (GC y GE).

Cuestionario 1: Análisis de las resoluciones de problemas de física.

Sobre el planteamiento cualitativo		
1.- ¿Aparecen datos o valores numéricos y fórmulas al inicio de la resolución?(sin realizar consideraciones cualitativas, descripciones interpretativas que favorecen la comprensión física)	SI	NO
2.- ¿Se expresan cualitativamente aspectos de la situación física (descripción interpretativa de lo que ocurre)?	SI	NO
3.- ¿Se precisa correctamente qué es lo que se busca y en qué condiciones se va resolver el problema?	SI	NO
Sobre la elaboración de estrategias		
4.- ¿Se elabora una posible estrategia de resolución antes de proceder a ésta?	SI	NO
Sobre la resolución del problema		
5.- ¿Se procede a la resolución como la puesta en práctica de la estrategia planteada?	SI	NO
6.- ¿Se realiza la resolución fundamentando y verbalizando lo que hace?	SI	NO
7.- ¿Se comienza con una resolución literal, antes de introducir valores numéricos?	SI	NO
Sobre el análisis de los resultados		
8.- ¿Se interpretan de alguna forma los resultados obtenidos?	SI	NO
Otras situaciones		
9.- ¿Es correcta la solución o el resultado?	SI	NO
10.- ¿Abandona la resolución o es totalmente incorrecta?	SI	NO

4. Presentación y análisis de resultados

Conviene destacar que nuestro "modelo de resolución de problemas" (y todo el diseño experimental que acabamos de presentar) se ha aplicado en tres oportunidades diferentes en el primer curso de física universitaria (asignatura de carácter introductoria y semestral, con tres horas semanales). En el presente artículo sólo se muestran los resultados obtenidos en la primera aplicación del "modelo de resolución de problemas", puesto que, lo que es muy importante, los resultados obtenidos en las otras dos aplicaciones han sido similares a los resultados mostrados en el presente artículo.

A los estudiantes del primer curso de física universitaria (edad: 17 a 19 años) de la carrera de agronomía se han dividido (totalmente al azar) en dos secciones diferentes (de 60 alumnos cada una): sección 1 = GE (un profesor con una enseñanza-aprendizaje de la física con una estructura problematizada) y sección 2 = GC (un profesor con una enseñanza habitual de la física).

Los resultados correspondientes al análisis de las resoluciones realizadas por los estudiantes del grupo experimental (GE) y los estudiantes del grupo control (GC) de la prueba de problemas, se muestran en la Tabla 2.

Antes de analizar los resultados obtenidos, queremos resaltar dos aspectos importantes:

1) En la valoración de las resoluciones realizadas por los estudiantes del grupo de control (sólo para este grupo), se eligió siempre la opción más desfavorable a nuestra hipótesis de trabajo, cualquier tipo de indicio de que una característica podría estar presente se consideró favorable para dichos estudiantes.

2) Para demostrar en forma científica que nuestro "modelo de resolución de problemas" produce en los estudiantes del Grupo Experimental un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas de "lápiz y papel" y una mejora significativa de los "indicadores de resolución" expresados en la Tabla 1 (a pesar de que los resultados expresados por las Tablas 2 y 3, por sí solos, sin necesidad de muchos comentarios, valida en forma categórica nuestra hipótesis de trabajo), se realizó una "prueba de hipótesis estadística" [29] para decidir científicamente si la diferencia de porcentaje de "presencia de la característica estudiada" es estadísticamente significativa a favor de los estudiantes del GE. Para estos tipos de datos (porcentajes) lo apropiado es aplicar el estadístico de prueba z . con un nivel de significación de 5%, Si el valor absoluto de z es mayor al valor crítico (1,96), existe una diferencia estadísticamente significativa a favor de los estudiantes del GE. Después haber calculado el valor de z se demostró que en todas las características de las Tablas 2 y 3 la diferencia es estadísticamente significativa a favor de los estudiantes GE.

En la Tabla 2 se comparan el análisis de las resoluciones realizadas por los estudiantes del GE con las resoluciones realizadas por los estudiantes del GC de la primera aplicación de nuestro "modelo de resolución de problemas". En la columna 3 y 5 se presentan los resultados del análisis de las resoluciones realizadas por los estudiantes del GC de los problemas 1 y 2, respectivamente. En la columna 4 y 6 se presentan los resultados del análisis de las resoluciones realizadas por los estudiantes del GE de los problemas 1 y 2, respectivamente.

Como lo mencionamos en el apartado anterior, la comparación se realiza sólo en las características mencionadas en el cuestionario 1. Las otras características mencionadas en la Tabla 1, como "la formulación de hipótesis", "duda de los resultados obtenidos" y "la

consideración de las perspectivas abiertas tras la resolución”, no han sido consideradas como indicadores en las resoluciones de los estudiantes del GC, debido a que no se les ha enseñado a resolver problemas con nuestra metodología (están cursando la asignatura de física con la metodología que se usa habitualmente en el primer curso universitario). En cambio, estas tres características están presentes en las resoluciones del GE: “formulación de hipótesis”, se encuentra presente en el 64% de los estudiantes del GE; “duda de los resultados obtenidos”, se encuentra presente en el 49% y “la consideración de las perspectivas abiertas tras la resolución”, se encuentra presente en el 44% de los estudiantes del GE.

Los resultados que muestra la Tabla 2 sobre la presencia de la característica 1 “aparecen datos o valores numéricos y fórmulas al inicio de la resolución”, ponen en evidencia que al menos el 77% de los estudiantes del GC, al inicio de la resolución aparecen, de inmediato, datos y fórmulas. En cambio, la presencia de esta situación en el GE, no supera el 10% de los estudiantes.

En coherente con lo anterior, no más del 48% de los estudiantes del GC “expresa en forma cualitativa los aspectos de la situación física”, en otras palabras, una descripción interpretativa de lo que ocurre. En cambio, la presencia de esta situación en el GE, supera el 75% de los estudiantes.

Los resultados que muestra la característica 4 “elabora una estrategia de resolución antes de proceder a ésta”, ponen en evidencia que no más del 42% de los estudiantes del GC proceden a elaborar una posible estrategia de resolución. La presencia de esta situación en el GE, supera el 72% de los estudiantes. A igual que

en las características anteriores, la diferencia es significativa a favor del GE.

Alrededor del 33% de los estudiantes del GC “procede a la resolución como la puesta en práctica de la estrategia planteada”. En el GE la presencia de esta característica, supera el 70% de los estudiantes. En las características, “realiza la resolución fundamentando y verbalizando lo que se hace” y “comienza con una resolución literal, antes de introducir valores numéricos”, la diferencia entre ambos grupos (GC y GE) es aún más grande a favor de los estudiantes del GE.

La característica 8 “interpreta de alguna forma los resultados obtenidos”, se encuentra presente en tan sólo un pequeño porcentaje de los estudiantes del GC, no más del 17% acompaña el resultado obtenido con algún comentario sobre la cuantía o significado físico del mismo, lo que hemos considerado positivamente como “interpreta los resultados obtenidos”. En esta misma característica, más del 52% de los estudiantes del GE realiza la interpretación del resultado obtenido.

La Tabla 2 muestra que en la característica 9 “solución o resultado correcto”, el 32% de los estudiantes del GC tienen la solución correcta en el problema 2. En el GE, el 58% de los estudiantes tienen la solución correcta en ese mismo problema.

A la vista de los porcentajes de abandono y resoluciones totalmente incorrectas en el GC, podemos afirmar que no se les ha enseñado a enfrentarse y resolver problemas, sino que se les han mostrado soluciones explicadas. No debe extrañar, pues, la tendencia a reconocer o abandonar la resolución. A igual que en todas características, la diferencia es significativa a favor del GE respecto al GC.

Tabla 2. Resultados del análisis de la resolución de los problemas de física.

Primera aplicación del Modelo de Enseñanza-Aprendizaje		Problema 1		Problema 2	
En cada grupo asistieron los 60 estudiantes. N = 60		GC (%)	GE (%)	GC (%)	GE (%)
1	Aparecen datos o valores numéricos y fórmulas al inicio de la resolución	80	10	77	3
2	Expresa en forma cualitativa los aspectos de la situación física: funcionamiento y descripción interpretativa de lo que ocurre	45	75	48	80
3	Expresa las condiciones que se van a suponer para acotar y definir la situación problemática, formulando en términos físico-matemáticos qué es lo que se busca	15	72	17	78
4	Elabora una estrategia de resolución antes de proceder a ésta	38	72	42	75
5	Procede a la resolución como la puesta en práctica de la estrategia planteada	33	70	35	75
6	Realiza la resolución fundamentando y verbalizando lo que se hace	30	62	32	67
7	Comienza con una resolución literal, antes de introducir valores numéricos	32	67	33	73
8	Interpreta de alguna forma los resultados obtenidos	17	52	15	62
9	Solución correcta o resultado correcto	28	52	32	58
10	Abandona la resolución	43	13	43	8

Por tanto, hemos comprobado que todas las características señaladas en el cuestionario 1 son contempladas adecuadamente en las resoluciones que realizan los estudiantes del GE, es decir, que el grado de cumplimiento de dichas características es significativa-

mente superior al que caracteriza las resoluciones de los estudiantes del GC.

Recordemos que para valorar en qué medida se mantiene la capacidad de resolución de problemas de “lápiz y papel” tiempo después de la instrucción

recibida, hemos diseñado tres pruebas similares a la prueba del punto anterior. Estos instrumentos se han aplicado tanto a los estudiantes del GE como a los estudiantes del GC, a los tres, seis y doce meses después de haber cursado y aprobado la asignatura de física.

Estas tres pruebas de "recuerdo" serán aplicadas a los estudiantes del GE y GC (sólo los estudiantes que han aprobado el curso de física) unos meses después de haber finalizado la instrucción recibida. Estas pruebas de "recuerdo" han sido contestadas sin limitaciones de tiempo por la cantidad de estudiantes (no participaron todos los estudiantes aprobados de ambos grupos. Las tres pruebas de "recuerdo" se aplicaron sólo a los estudiantes que querían rendirlas) y en los meses que se señalan a continuación:

Estudiantes voluntarios	Doce meses después N° de estudiantes	Seis meses después N° de estudiantes	Tres meses después N° de estudiantes
GE	20	26	25
GC	15	14	15

A modo de ejemplo, sólo vamos a mostrar los resultados de las resoluciones del problema 1 de las tres pruebas de "recuerdo" (analizadas las resoluciones del problema 2, el grado de cumplimiento de las características del cuestionario 1 es significativamente superior en el GE respecto al GC).

Los resultados de las resoluciones del problema 1 para ambos grupos de estudiantes (GE y GC) se muestran en la Tabla 3. El resultado que muestra la característica 1 "aparecen datos o valores numéricos y fórmulas al inicio de la resolución", pone en evidencia que doce meses después de la instrucción recibida, el 80% de estudiantes del GC al inicio de la resolución aparece, de inmediato, datos y fórmulas (seis meses después, el 71% y tres meses después, el 67%). En cambio, en el GE, doce meses después de la instrucción recibida, esta situación se presenta sólo en un 15% de los estudiantes (un 4% en seis meses después y un 8% en tres meses después).

En coherencia con lo anterior, doce meses después de la instrucción recibida, sólo el 33% de los estudiantes del GC "expresa en forma cualitativa los aspectos de la situación física", en otras palabras, una descripción interpretativa de lo que ocurre (seis meses después, el 36% y tres meses después, el 53%). Esta situación se observa en el 60% de los estudiantes del GE en los doce meses después de la instrucción recibida (seis meses después, el 62% y tres meses después, el 76%).

Los resultados que muestra la característica 4 "elabora una estrategia de resolución antes de proceder a

ésta", ponen en evidencia que doce meses después de la instrucción recibida, sólo el 27% de los estudiantes del GC proceden a elaborar una posible estrategia de resolución. En el GE, el 50% de los estudiantes elaboran, en forma explícita, una estrategia de resolución. En seis y tres meses después de la instrucción recibida, la presencia de esta característica sigue siendo significativa a favor del GE.

Doce meses después de la instrucción recibida, sólo un 27% de los estudiantes del GC (un 29% a los seis meses después y un 33% a los tres meses después) "proceden a la resolución como la puesta en práctica de la estrategia planteada". En cambio, la presencia de este indicador en el GE, es de un 50% (un 58% a los seis meses después y un 64% a los tres meses después). La presencia de las características, "realiza la resolución fundamentando y verbalizando lo que se hace", y "comienza con una resolución literal, antes de introducir valores numéricos" (en doce, seis y tres meses después de la instrucción recibida), la diferencia es significativa a favor del GE.

La característica 8 "interpreta de alguna forma los resultados obtenidos", se encuentra presente en tan sólo un pequeño porcentaje de los estudiantes del GC, el 20%, a los tres meses después de la instrucción recibida. En cambio, el 56% de los estudiantes del GE interpreta los resultados. A los seis y doce meses después, la presencia de la característica sigue siendo significativa a favor del GE.

Según los resultados que muestra la característica 9 "solución correcta o resultado correcto", doce meses después de la instrucción recibida, sólo un 20% de los estudiantes del GC (un 21% a los seis meses y un 27% a los tres meses) tienen el resultado correcto. En el GE, el 50% de los estudiantes tienen el resultado correcto doce meses después de la instrucción recibida (el 54% a los seis meses después y el 52% a los tres meses después). Al igual que en todas las características analizadas, la diferencia es significativa a favor del GE respecto al GC.

Los resultados obtenidos de las pruebas de "recuerdo" aplicadas doce, seis y tres meses después de la instrucción recibida, muestra claramente que los estudiantes del GE obtienen un porcentaje de resultados correctos notable y significativamente superior al de los estudiantes del GC. De acuerdo a lo anterior, podemos afirmar que la capacidad de resolución de problemas de "lápiz y papel" se mantiene tiempo después (varios meses) de la instrucción recibida. Por tanto, estos resultados y los anteriores validan nuestra hipótesis de trabajo.

Tabla 3. Resultados del análisis de la persistencia de la capacidad de resolución de problemas tres, seis y doce meses después de la instrucción recibida.

De la primera aplicación (Problema 1)		GE (12 meses) (%)	GC (12 meses) (%)	GE (6 meses) (%)	GC (6 meses) (%)	GE (3 meses) (%)	GC (3 meses) (%)
1	Aparecen datos o valores numéricos y fórmulas al inicio de la resolución	15	80	4	71	8	67
2	Expresa en forma cualitativa los aspectos de la situación física: funcionamiento y descripción interpretativa de lo que ocurre	60	33	62	36	76	53
3	Expresa las condiciones que se van a suponer para acotar y definir la situación problemática, formulando en términos físico-matemáticos qué es lo que se busca	55	13	58	14	60	27
4	Elabora una estrategia de resolución antes de proceder a ésta	50	27	58	29	68	33
5	Procede a la resolución como la puesta en práctica de la estrategia planteada	50	27	58	29	64	33
6	Realiza la resolución fundamentando y verbalizando lo que se hace	35	20	50	21	56	20
7	Comienza con una resolución literal, antes de introducir valores numéricos	50	27	54	29	60	27
8	Interpreta de alguna forma los resultados obtenidos	40	7	42	7	56	20
9	Solución correcta o resultado correcto	50	20	54	21	52	27
10	Abandona la resolución	15	53	12	50	16	40

5. Conclusiones

A la luz de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, podemos afirmar que nuestro “modelo de resolución de problemas” produce un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas de “lápiz y papel” y, una mejora de los “indicadores de resolución” establecidos en la Tabla 1.

Por tanto, podemos concluir que nuestro “modelo de resolución de problemas” contribuye a desarrollar la capacidad de enfrentarse y resolver problemas y, produce una mejora significativa en el rendimiento académico de la mayoría de los estudiantes y no sólo para un pequeño selecto.

Ref. [3]: enviar todos os autores

Ref. [28]: falta página inicial

Referências

- [1] J. González, R. Wagenaar y P. Beneitone, *Revista Iberoamericana de Educación* **35**, 151 (2004).
- [2] G. Fonseca, G. Chona, J. Arteta, X. Ibáñez, S. Martínez y M. Pedraza, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, http://ensciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/material/comunicaciones/3_relacion_invest/3.1/fonseca_320.pdf.
- [3] L.J. Tirado, J. Estrada, R. Ortiz *et al.*, *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* **40**, 123 (2007).
- [4] UNESCO, *International Science, Technology & Environmental Education*. UNESCO Newsletter **29**, 4 (2004).

- [5] E. Harskamp and N. Ding, *International Journal of Science Education* **28**, 1669 (2006).
- [6] C. Becerra-Labra, A. Gras-Martí y J. Martínez-Torregrosa, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 299 (2005).
- [7] C. Becerra-Labra, A. Gras-Martí y J. Martínez-Torregrosa, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 97 (2007).
- [8] P. Black, *Physics 2000: Physics as it Enters a new Millennium*, edited by Paul Black, Gordon Drake, and Leonard Jossem (IUPAP, 2000) (en línea: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/iupap/p2000.pdf>).
- [9] National Research Council, *Knowing What Students Know: The Science and Design of Educational Assessment*, edited by J. Pellegrino, N. Chudowsky and R. Glaser (National Academy Press, Washington DC, 2001).
- [10] Chun-Yen Chang and Yu-Hua Weng, *International Journal of Science Education* **24**, 441 (2002).
- [11] M.R. Garrett, *Enseñanza de las Ciencias* **6**, 224 (1988).
- [12] B.B. Hudgins, *Cómo Enseñar a Resolver Problemas en el Aula* (Paidós, Buenos Aires, 1966).
- [13] J.R. Hayes, *The Complete Problem Solver* (The Franklin Institute Press, Philadelphia, 1981).
- [14] D. Gil and J. Martínez-Torregrosa, *European Journal of Science Education* **5**, 447 (1983).
- [15] G.M. Bodner and T.L. McMillen, *Journal of Research in Science Teaching* **23**, 727 (1986).
- [16] F.J. Perales Palacios, *Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias* (Marfil S.A., Alcoy, 2000).
- [17] S. Krulik and K. Rudnik, *Problem Solving in School Mathematics*. National Council of Teachers of Mathematics (Year Book, Reston, 1980).

- [18] G. Polya *How To Solve It* (Princeton University Press, Princeton, 1957), 2nd ed.
- [19] D.P. Maloney, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (Simon & Schuster, New York, 1994).
- [20] J. Martínez-Torregrosa, D. Gil, C. Becerra-Labra y J. Guisasola, *Educación Química* **16**, 230 (2005).
- [21] A. Sfard, P. Nesher, L. Streefland, P. Cobb and J. Mason, *For the Learning of Mathematics* **18**, 41 (1998).
- [22] A. Schoenfeld, in *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, edited by D. Grouws (Macmillan, New York, 1992).
- [23] A. Schoenfeld, in *Mathematical Thinking and Problem-Solving*, edited by A. Schoenfeld (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1994).
- [24] D. Gil, A. Dumas-Carré, M. Caillot, J. Martínez-Torregrosa y L. Ramírez, *Investigación en la Escuela* **6**, 3 (1988).
- [25] H. Pol, E. Harskamp and E. Suhre, *International Journal of Science Education* **27**, 451 (2005).
- [26] C. Furió y J. Guisasola, *Science Education* **82**, 511-526 (1998).
- [27] J. Guisasola, C. Furió, M. Ceberio y J.L. Zubimend, *Enseñanza de las Ciencias extra*, 17 (2003).
- [28] G. Gilbert, *Journal of Chemical Education* **57**, (1980).
- [29] J. Welkowitz, R.B. Ewen y J. Cohen, *Estadística Aplicada a las Ciencias de la Educación*, (Santillana S.A., Madrid, 1982).