

---

# ¿ES NECESARIA LA ENSEÑANZA DE CONTENIDOS PROCEDIMENTALES EN CURSOS INTRODUCTORIOS DE FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD?

GUISASOLA, J.<sup>1</sup>, FURIÓ, C.<sup>2</sup>, CEBERIO, M.<sup>1</sup> y ZUBIMENDI, J.L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco

<sup>2</sup> Departamento de Didáctica de Ciencias Experimentales. Universidad de Valencia

---

**Resumen.** La resolución de problemas de Física a nivel universitario es considerada como una actividad necesaria para evaluar el conocimiento conceptual y procedimental de los estudiantes. En este estudio hemos querido, por un lado, identificar las principales características del conocimiento procedimental que deben tener los estudiantes universitarios para resolver problemas de lápiz y papel. Por otro lado, hemos evaluado el nivel de aplicación de la metodología científica por parte de los estudiantes al resolver problemas. Los resultados obtenidos parecen indicar que cuando los estudiantes son guiados a realizar un análisis cualitativo presentan graves deficiencias en la principales características del mismo, debido en parte, a la utilización de razonamientos que dan muy poca relevancia a los contenidos procedimentales.

**Summary.** Solving Physics problems is accepted as a necessary activity in order to evaluate university students' conceptual and procedural knowledge. In line with this we have attempted to identify the main characteristics of that procedural knowledge students need when solving pencil and paper problems. Moreover, we have evaluated to what extent students apply scientific methodology to solve problems. According to the results found, it might seem that students present serious deficiencies when they are guided into doing a qualitative analysis. This is partly due to their use of a type of reasoning that lacks relevant procedural contents.

---

## INTRODUCCIÓN

En los cursos introductorios de Física a nivel universitario la resolución de problemas esta considerada como una actividad necesaria de cara a la familiarización de los estudiantes con la metodología científica y al aprendizaje significativo de los contenidos de la Física. En la didáctica de las ciencias existe ya un importante número de investigaciones en resolución de problemas que se han realizado en las últimas décadas. (Gil y Martínez-Torregrosa, 1984; Perales, 1993; Maloney, 1994).

Una de las metas principales de la Enseñanza de las Ciencias es el desarrollo de capacidades relacionadas con la metodología científica (National Science

Education Standards 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. Por ejemplo asociaciones como la AAAS (American Association for Advancement of Science, 1989) en su proyecto Science for all Americans, o especialistas en educación de las ciencias como Duschl (1988) han defendido que la ciencia escolar debería incluir no sólo lo *que* la ciencia conoce, sino también *cómo* la ciencia ha alcanzado ese conocimiento.

---

Así mismo, en la Enseñanza de las Ciencias en Facultades de Ciencias y Escuelas de Ingeniería se mencionan fines y objetivos que conciernen al aprendizaje de capacidades metodológicas que se han de desarrollar principalmente en las clases de resolución de problemas y en las prácticas de laboratorio. De hecho, el papel jugado por la resolución de problemas en la enseñanza de la Física está pasando de constituir meros ejercicios de aplicación a convertirse en un objetivo prioritario de la instrucción (Martínez-Torregrosa, 1987; Maloney, 1994; Varela y Martínez, 1997; Perales, 2000). Una de las finalidades que se presenta es que el estudiante debe ser capaz de utilizar la metodología científica para resolver problemas.

Puede parecer que, a nivel universitario, el planteamiento de familiarizar a los estudiantes con las características principales de la metodología científica no tenga razón de ser por haber sido objeto de especial atención en la etapa de Enseñanza Secundaria. Es frecuente encontrarse con programas de Introducción a la Física en primeros cursos de Universidad que dan por supuesto esta familiarización a la hora de plantear problemas a los estudiantes y de exigirles su resolución (Bandeira et al., 1995). En esta misma línea se expresan Salinas et al. (1996) al señalar que la construcción de un conocimiento sobre los fenómenos naturales como los que se pretenden enseñar en ciclos universitarios básicos de carreras científico-tecnológicas, requiere procedimientos y actitudes que no suelen tener demasiada importancia para los objetivos del conocimiento común (por ejemplo, la utilización de abordajes analíticos y modelizados para enfrentar los problemas, la búsqueda de coherencia en las respuestas y el control del acuerdo entre la teoría y la realidad...). Será necesario evaluar hasta qué punto los estudiantes universitarios utilizan la metodología científica al plantearse y resolver problemas. Sería una pérdida de esfuerzo y tiempo diseñar programas Introdutorios de Física dando por supuesto que los estudiantes dominan una serie de capacidades relacionadas con la metodología científica que realmente no tienen.

A lo largo de este estudio hemos querido, por un lado, identificar las principales características del conocimiento procedimental que deben tener los estudiantes universitarios para resolver problemas de lápiz y papel. Por otro lado, hemos evaluado el nivel de aplicación de la metodología científica por parte de los estudiantes al resolver problemas.

## **CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LÁPIZ Y PAPEL**

Para la identificación de las principales características del conocimiento procedimental hemos recurrido a la extensa bibliografía que sobre el tema existe en la Didáctica de las Ciencias (Tamir y García, 1992; Lock, 1992; Kirschener et al., 1993; Lawson, 1994; De Pro, 1998). Concretamente, los nuevos enfoques en el ámbito de la resolución de problemas de lápiz y papel ponen de manifiesto la existencia de una gran variedad de contenidos procedimentales (Sigüenza y Saez, 1990; Perales, 1993; Watson, 1994). Sin

embargo existe una cierta confusión con la terminología que desde cada perspectiva investigadora se utiliza para significar los procedimientos, por lo que de cara a este trabajo es conveniente centrar el enfoque terminológico que pretendemos utilizar.

Queremos señalar, en primer lugar, que somos conscientes de que la naturaleza del conocimiento procedimental ha dado lugar a serios debates, en los que se manifiestan profundas discrepancias entre los estudiosos. Roth y Roychoudhury (1993) señalan que la enseñanza de habilidades procedimentales como componentes del método científico ha descansado en tres creencias: las habilidades de bajo nivel pueden ser concatenadas para formar habilidades de orden superior (Gagné, 1970); las habilidades de razonamiento son de tipo general, independientes del dominio (Simon 1981); y las habilidades de pensamiento son independientes del contexto social y físico en que se aplican. Por otra parte, las psicologías del procesamiento de la información tienen una concepción de las habilidades de pensamiento de orden superior como factibles de ser descompuestas en otras más sencillas y aprendidas por la concatenación de las más simples.

Sin embargo, un extenso estudio realizado por Cunningham (1984) concluyó que la mayoría de las habilidades identificadas por las teorías del procesamiento de la información son inconexas, arbitrarias y parecen ser una colección de herramientas aisladas. Otras investigaciones también han cuestionado la independencia de las habilidades y la estructuración jerárquica de sus componentes. Así, más que habilidades separadas, las habilidades procedimentales de la ciencia parecen estar interrelacionadas entre sí y con el pensamiento formal (Baird y Borich 1987, Tobin y Capie 1982). Además, sobre la base de un modelo jerárquico de múltiples niveles, todas las habilidades han mostrado estar referidas a un constructo subyacente (Roth, 1989). Sin embargo, habilidades que se presumían subordinadas han surgido en el lugar más elevado de la jerarquía, y las jerarquías establecidas han resultado incompatibles para estudiantes con diferentes habilidades de razonamiento (Yap y Yeany, 1988). Y, por último, Schön (1992) defiende que el contenido y las habilidades se encuentran tan intrínsecamente relacionados que el medio es interdependiente de los fines, el conocimiento resulta inseparable de la acción. Nuestra destreza para controlar y orquestar las habilidades cognitivas no es una capacidad abstracta y libre de contexto que pueda ser fácilmente transferida a través de amplios dominios problemáticos diferentes, consiste más en una actividad cognitiva específicamente ligada al contexto (Greeno, 1988; Suchman, 1987).

En este estudio con el término conocimiento procedimental nos referiremos a la capacidad de los alumnos para dar solución a problemas de lápiz y papel desde sus propios recursos de destrezas y conceptos articulados en base a un razonamiento propio de la Ciencia. Así, usaremos el término «conocimiento procedimental» para referirnos a las habilidades investigativas características de la Ciencia integradas por unas destrezas, un conocimiento declarativo específico de la materia y una forma de razonar acorde con ella, es decir unas habilidades de razonamiento. En esta misma línea, Nigro (1995), señala que ante cualquier

situación, el alumno, el profesor o el científico, necesita disponer de una serie de habilidades para poder manejarla. Como esas habilidades son activadas junto con un determinado conocimiento de los hechos, conceptos y principios que se refieren a la situación específica, a la asociación habilidad más contenido, se denomina capacidad.

Análogamente, Nickles (1981) defiende que la adecuada resolución de un problema conlleva una demanda de tipo metodológico general, y una demanda de conocimiento programático específico. Estos dos aspectos de una correcta resolución, no sólo están presentes en ella, sino que conjuntamente definen en parte el problema y le aportan estructura.

Como señala De Pro (1998), hay que realizar una diferenciación entre un proceso de la ciencia y un contenido procedimental. Como en el caso de los contenidos conceptuales, ni la motivación, ni el desarrollo madurativo del usuario, ni la utilidad y finalidad que tiene para el que usa este conocimiento son semejantes. Por tanto, habrá que considerar el contexto científico donde tiene su origen, pero será necesario acondicionarlo como contenido académico. Tampoco se puede olvidar que la separación establecida con los contenidos conceptuales o actitudinales pretende facilitar estudios analíticos o reclamar la atención de los profesores y especialistas. Sin embargo, forman un cuerpo cohesionado de conocimientos que, en conjunto, justifica el valor formativo de estas disciplinas. Cuando enseñamos conceptos también estamos enseñando algunos procedimientos, y análogamente, no podríamos enseñar procedimientos sin tratar aspectos conceptuales ni sin hacer uso de ciertas formas de razonamiento.

Así pues, aunque en este estudio no entraremos a valorar cómo las formas de razonamiento afectan a las habilidades generales o viceversa, ni cómo el desarrollo de ambas inciden en el conocimiento conceptual, sí sostenemos la

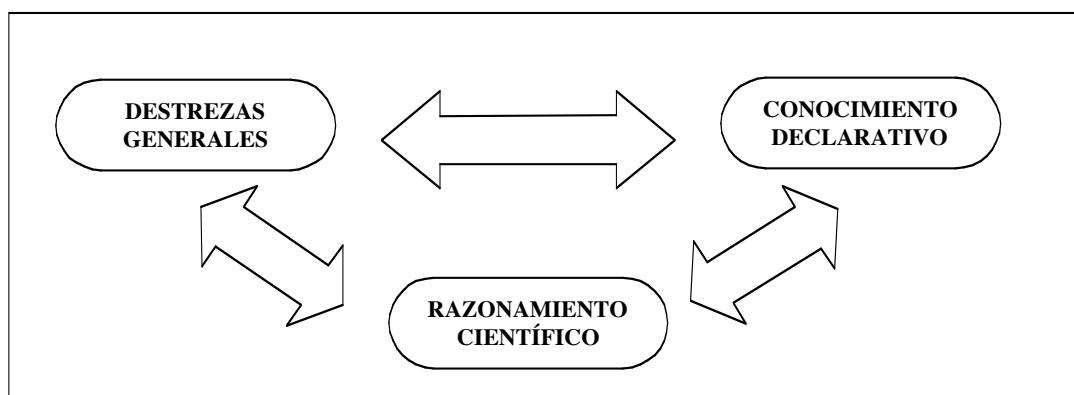
intercomplementariedad de estos tres aspectos y su carácter determinante en el proceder de los estudiantes para abordar problemas científicos. En la figura 1 se refleja esquemáticamente esta concepción del conocimiento procedimental.

Para que un contenido procedimental pueda ser considerado coherente con la epistemología científica, el conocimiento declarativo y las destrezas generales deberán ser articuladas por una forma de razonar propia de la Ciencia, y alejadas de las formas espontáneas de razonamiento que pueden suponer dificultades de tipo estratégico en resolución de problemas e importantes causas de fracaso (Izquierdo, 2000). La importancia de enseñar habilidades de razonamiento está siendo foco de mucha atención en todas las áreas del currículo (Furió et al., 2000, Salinas et al., 1996, Viennot 1992, 1996, Anderson, 1990); términos como habilidades de pensamiento, razonamiento científico, desarrollo cognitivo, pensamiento crítico y pensamiento lógico resultan muchas veces intercambiables en la literatura referente a distintas disciplinas, y es que estos términos contienen elementos comunes tales como la búsqueda de relaciones causa efecto, análisis crítico y reconocimiento de relaciones.

Bajo esta perspectiva globalizadora, la integración del conocimiento declarativo específico con las destrezas generales a través de unas formas de razonar acordes con la epistemología científica, el conocimiento procedimental que interviene en la actividad investigativa científica que deberá orientar la resolución de problemas sería el que se resume en el cuadro I. El cuadro recoge los principales aspectos procedimentales en los que se da un amplio consenso y que nos permite establecer unos objetivos a lograr en la clase de resolución de problemas (Gil et al., 1988, De Pro, 1998, Perales, 2000). Es decir, se desglosan características de la metodología científica a desarrollar para poder realizar en resolución de problemas el análisis cualita-

Figura 1

Aspectos del conocimiento procedimental.



Cuadro 1  
Conocimientos procedimentales en resolución de problemas.

**Realización de análisis cualitativo.**

- Reconocer un interés por resolver el problema.
- Clarificar el objetivo, lo que se busca, aspecto no siempre evidente en las situaciones problemáticas
- Realizar descripciones verbales o gráficas de la situación para poder tomar las decisiones cruciales que la resolución de un problema exige al comienzo.
- Analizar el sistema físico en estudio:  
Acotar la situación para modelizarla y simplificarla si es preciso.  
Reconocer un marco teórico de referencia.  
Identificar variables o, en su caso, buscar datos.  
Identificar partes del problema.
- Plantear interrogantes.

• **Emisión de hipótesis como conjeturas de posibles soluciones: Descriptivas o predictivas si responden a “¿Qué?”. Explicativas si además responden, en base al marco teórico, a “¿Por qué?”.**

- Predecir la posible evolución del sistema.
- Establecer relaciones de dependencia entre variables.
- Establecer procesos de control y exclusión de variables.
- Analizar casos límite de especial relevancia física.

• **Elaboración de estrategias como tentativas: Descriptivas si responde a “¿Cómo?”. Explicativas si además responde, en base al marco teórico, a “¿Por qué?”.**

- Presentar una descripción secuencial de ideas y actuaciones para alcanzar la solución.
- Subdividir el problema en etapas, si fuera posible.
- Identificar las leyes y principios fundamentales a utilizar en la resolución.
- Valorar posibles vías alternativas.

• **Resolución.**

- Resolver literalmente hasta el final.
- Formas de comunicar los resultados:  
Verbalizar.  
Obtener valores numéricos.  
Representar gráficamente el resultado.

• **Análisis de resultados: Aspectos relacionados con una comunicación justificada de la respuesta.**

- Analizar la coherencia teórica de la respuesta.
- Analizar la plausibilidad del valor de la respuesta.
- Analizar la coherencia dimensional de la respuesta.
- Analizar la dependencia de la respuesta con los parámetros del problema en el sentido que cabría esperar (según las hipótesis).
- Analizar si se ajusta la respuesta a lo que se podría esperar en situaciones sencillas y especiales, por ejemplo, las correspondientes a valores extremos de las variables (según las hipótesis).
- Analizar si se obtiene la misma respuesta por otro medio diferente de resolución.

• **Formulación de nuevas perspectivas.**

- Relacionar con otras cuestiones del mismo o de distinto tema.
- Abordar con otro nivel de profundidad.
- Plantear otros modelos. Formular hipótesis en dichos marcos.
- Plantear nuevos problemas.

tivo, la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias, la resolución propiamente dicha y el análisis de resultados, así como el planteamiento de nuevas perspectivas, por lo que estos procedimientos podrán considerarse, desde un punto de vista instrumental, como signos evidentes de una mayor efectividad en la resolución de problemas.

## HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez que hemos identificado las principales capacidades sobre la metodología científica que se debe fomentar en las clases de problemas y que figuran como finalidades de muchos cursos introductorios de Física, vamos a exponer el diseño realizado para evaluar el nivel de aplicación de los estudiantes de estas capacidades al resolver problemas.

Para la elaboración del diseño experimental hemos partido de otro trabajo anterior (Guisasola et al., 1998) donde se mostraba que la resolución de problemas-tipo de Física no contribuye a desarrollar aspectos conceptuales que, desde una concepción de los problemas como aplicación de la teoría, cabría esperar que se consolidaran. Este resultado converge con otros resultados de estudios de investigación sobre resolución de problemas en el aula que indican que la presentación didáctica habitual de los problemas de Física se basa en la identificación de aquellos como meros ejercicios de aplicación que el estudiante debe asimilar y reproducir (Reyes, 1991; Gil y Carrascosa, 1994; Oñorbe y Sánchez, 1996). Así pues, un gran número de estudios han constatado que los estudiantes no emplean procedimientos característicos de la metodología científica a la hora de resolver problemas.

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. No obstante, la revisión bibliográfica que hemos realizado y nuestra experiencia como docentes nos lleva a establecer como hipótesis de trabajo que incluso cuando se les pide explícitamente a los estudiantes que utilicen y expliquen determinadas características de la metodología científica no serán capaces de hacerlo y se centrarán en la utilización mecánica de estrategias memorísticas, utilizando razonamientos de sentido común.

Para contrastar nuestra hipótesis e indagar en el conocimiento procedimental que los estudiantes poseen y activan en la resolución de problemas de Física, hemos elaborado 8 situaciones problemáticas. En ellas se solicita a los estudiantes de forma explícita por medio de una pregunta directa que utilicen y desarrollen un aspecto metodológico concreto de entre los que hemos explicitado en el cuadro 1 (análisis cualitativo, emisión de hipótesis, análisis de variables, elaboración de estrategias y análisis de resultados). Conocemos que la resolución de problemas es un proceso global donde 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. Así mismo, las situaciones problemáticas presentan una estructura cerrada y familiar a los problemas que los estudiantes realizan habitualmente en el aula.

---

Las cuatro primeras situaciones problemáticas (ver anexo) se han diseñado poniendo énfasis en los aspectos de análisis cualitativo de los problemas y en la emisión de hipótesis. El enunciado de la quinta y la sexta situaciones problemáticas se ha centrado fundamentalmente en que los estudiantes expliciten las estrategias que utilizarían para la resolución de los problemas. En las dos últimas situaciones se da información sobre la solución del problema y se pide a los estudiantes que realicen explícitamente el análisis del mismo respecto a su coherencia dentro del marco teórico estudiado en clase.

Debido a cuestiones de espacio vamos a presentar aquí los diseños y resultados referidos a las cuatro primeras situaciones problemáticas que se centran fundamentalmente en el análisis cualitativo de la situación problemática y en la emisión de hipótesis. Así en las preguntas que se realizan se explicita que analicen de manera cualitativa, con palabras y sin utilizar fórmulas, aspectos concretos como descripción de la situación o 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.

Nos ha parecido interesante comentar esta primera fase de análisis cualitativo y emisión de hipótesis en la resolución de un problema ya que a veces no es suficientemente resaltada. El análisis cualitativo de una situación problemática no es un proceso lineal dentro de la metodología científica sino que resulta de la interacción entre los datos externos y el conocimiento del estudiante con el objetivo de dar un sentido a la situación que se plantea (Millar 1994). Así pues, es un procedimiento complejo que incluye posibles conjeturas a título de hipótesis sobre la posible evolución de la situación planteada. La enseñanza, habitualmente, no trabaja explícitamente este aspecto procedimental y lo considera como una capacidad separada del proceso de resolución de problemas. Sin embargo, desde un punto de vista constructivista que considera el aprendizaje como un proceso de interacción y evaluación entre el conocimiento del aprendiz y el mundo exterior, será necesario orientar a los estudiantes a un contexto donde el conocimiento no sea recibido de forma pasiva. En este contexto el análisis cualitativo de la situación es importante para que los propios estudiantes construyan explicaciones plausibles de los fenómenos.

Los problemas elaborados han sido pasados a un total de 268 estudiantes distribuidos en cinco grupos de primer curso de Ingeniería en situación de examen. Los estudiantes se enfrentaban a los problemas del cuestionario en las diversas pruebas de evaluación que tienen a lo largo del curso escolar. Esto nos permite reforzar el carácter individual de los resultados y asegurar el interés de los estudiantes en la correcta realización de las tareas propuestas.

Los protocolos utilizados para la valoración de las resoluciones realizadas por los estudiantes ha 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). De acuerdo con

Tomkins S.P. y Tunnicliffe S.D. (2001) 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. En un intento de recoger la máxima información posible, los cuatro profesores participantes en la investigación analizamos, en primer lugar, una muestra reducida de respuestas (8 estudiantes) de cada problema y realizamos una categorización de las respuestas de acuerdo con las características señaladas en el cuadro 1. Para categorizar las respuestas se agrupaban los comentarios en estructuras discretas que se reconocen como «una explicación» (Cortazzi, 1993). Este análisis previo nos permitió establecer la fiabilidad de los criterios de categorización y sus resultados no se contemplan en el estudio que presentamos. 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.

Los estudiantes dispusieron de 60 minutos para contestar a cada una de las situaciones 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, el profesor insistió en el carácter explicativo de las respuestas buscando significados físicos no exclusivamente operativos.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Vamos a presentar a continuación algunos de los resultados obtenidos en el análisis de las respuestas de los estudiantes a las cuatro situaciones problemáticas planteadas.

En la tabla I y II se recogen algunos resultados para la primera y cuarta de las situaciones problemáticas. En la segunda columna se enumeran las «explicaciones» más comunes encontradas en las respuestas de los estudiantes. Cualquier comentario o dibujo o afirmación que propone una opinión particular ha sido numerada. No se han tenido en cuenta algunas respuestas que no contenían ninguna opinión o era inclasificable de acuerdo a las categorías diseñadas.

Veamos a continuación algunas características comunes de los estudiantes al abordar el análisis cualitativo de un problema de acuerdo con los resultados obtenidos.

*A. Acotar la situación para modelizarla y simplificarla si es preciso*

Una primera cuestión a resaltar es que la gran mayoría de los estudiantes no tiene en cuenta las condiciones en que se desarrolla la situación problemática, ni discute las diferentes posibilidades que se podrían dar. Esto sucede en todas las respuestas de los estudiantes a los dos primeros problemas y en una amplia mayoría de las respuestas a las

Tabla 1

Resultados de la categorización de las respuestas de los estudiantes al problema «Rodadura»

## PROBLEMA RODADURA (N=30)

CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL		NÚMERO DE EXPLICACIONES INSUFICIENTEMENTE RAZONADAS O NO MENCIONADAS
REALIZACIÓN DE ANÁLISIS CUALITATIVO	Realizar descripciones verbales o gráficas de la situación	- 12 respuestas no apoyan sus explicaciones en una figura concreta - Ninguna respuesta describe de forma conjunta los dos aspectos centrales del sistema:
	Analizar el sistema físico en estudio	a) que la velocidad lineal depende en módulo dirección y sentido de la fuerza inicial aplicada. b) que la velocidad angular depende en módulo de la fuerza y la distancia al centro de la esfera y, en dirección y sentido del punto de aplicación de la fuerza
	Acotar la situación para modelizarla y simplificarla si es preciso	- Ninguna respuesta especifica que para analizar el problema se ha considerado que durante el impacto la fuerza es muy superior a cualquier otra (rozamiento, peso y normal) - Ninguna respuesta valora posibles puntos de aplicación de la fuerza inicial
	Reconocer el marco teórico de referencia	- 10 respuestas no consideran que el movimiento inmediatamente posterior al impacto es una combinación de traslación y rotación - Ninguna respuesta analiza conjuntamente la posibilidad de rodadura con y sin deslizamiento
	Identificar variables	- 11 respuestas no identifican conjuntamente las dos variables fundamentales (velocidad lineal y angular) para analizar la evolución del sistema
EMISIÓN DE HIPÓTESIS	Valorar la posible evolución del sistema (descriptiva o explicativa)	- 18 respuestas no consideran las condiciones en que la bola alcanza la rodadura sin deslizamiento - 20 respuestas no consideran las condiciones entre rodadura con deslizamiento y la rodadura pura

otras dos situaciones problemáticas. Así, en el problema de rotación de la varilla el 87% no considera qué sucedería si se cambia la longitud de la varilla y, en el problema de las placas paralelas sólo el 20% de los estudiantes considera variables que modifican el contexto como un cambio de medio o un cambio en la superficie de las placas.

Estos resultados son coherentes con una enseñanza tradicional de problemas que no tiene en cuenta el pensamiento divergente y la imaginación como características necesarias del conocimiento científico en una primera fase de análisis cualitativo dirigida a acotar la situación para modelizarla y simplificarla si es preciso.

### B. Reconocer el marco teórico de referencia

En segundo lugar, los resultados muestran que una parte importante de los estudiantes presenta deficiencias al reconocer el marco teórico en el que sitúa el análisis cualitativo del problema. Resulta obvio que sin reconocer correctamente el marco teórico no es posible considerar ningún problema científico, pues es precisamente el modelo teórico el que nos debe aportar las herramientas conceptuales y los criterios de aplicabilidad que guían la resolución. En particular, en el problema de rodadura, ninguna de las ex-

plicaciones considera oportuno indicar que el marco teórico se basa en el modelo de sólido rígido, aunque todas las respuestas se basan en él. Así mismo, el 35% de los estudiantes no consideran que el movimiento inmediatamente posterior al golpe es una combinación de traslación y rotación y, el resto de los estudiantes dan por supuesto que el movimiento es una rodadura sin deslizamiento. Aquí parece que la gran mayoría de los estudiantes presentan una fijación funcional a una estrategia de resolución de problemas ampliamente utilizada en clase como es el estudio de la rodadura ( $v_0 = \omega_0 R$ ), pero que no deja de ser un caso particular en el que hay que especificar claramente las condiciones en que tiene lugar.

En el problema de inducción magnética la gran mayoría de los estudiantes no indica el marco teórico, la ley de Faraday-Lenz, que explica la aparición de corriente en los tubos. Además, existe una minoría (alrededor del 11%) que considera el flujo magnético y no a su variación como la variable responsable de la corriente que circula por los circuitos. De acuerdo con esta falta de referencia teórica, casi la mitad de los estudiantes justifica la dirección de la fuerza magnética en base a la fórmula  $\vec{F} = \vec{I} \wedge \vec{B}$ . Parece que en esta situación los estudiantes presentan una fijación funcional a una estrategia operativista a pesar de que se les

Tabla II

Resultados de la categorización de las respuestas de los estudiantes al problema «Placas Paralelas»

**PROBLEMA PLACAS PARALELAS (N=36)**

CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL		NÚMERO DE EXPLICACIONES INSUFICIENTEMENTE RAZONADAS O NO MENCIONADAS
REALIZACIÓN DE ANÁLISIS CUALITATIVO	Reconocer un marco teórico de referencia	- 12 respuestas no hacen referencia al modelo cinemático-dinámico donde desarrollan sus explicaciones - Ninguna de las respuestas hace referencia a un modelo energético para explicar lo que sucede
	Identificar variables	- Alrededor de $\frac{3}{4}$ de las respuestas no tienen en cuenta alguna variable que condiciona el proceso de evolución del sistema. Por ejemplo: a) 17 respuestas no señalan que la interacción eléctrica depende también de la carga b) 28 respuesta no analizan el efecto de la superficie de las placas en el movimiento c) 31 respuestas no tienen en cuenta el efecto de la permitividad del medio d) 25 respuestas no consideran el efecto de la distancia entre los puntos inicial y final
EMISIÓN DE HIPÓTESIS	Establecer relaciones de dependencia entre variables	- Ninguna de las respuestas tiene en cuenta todas las dependencias entre variables. Así: a) 30 respuestas no analizan la dependencia entre la masa de la partícula y su movimiento b) 31 respuestas establecen la relación entre la posición de la partícula y su velocidad c) 22 respuestas no analizan la relación entre el potencial eléctrico y la velocidad
	Analizar casos límite de especial relevancia (explicativa)	- Alrededor de $\frac{1}{3}$ de las preguntas hacen el análisis de algún caso límite entre variables. - 23 respuestas no consideran ningún valor límite para la variable carga eléctrica - 31 respuestas no consideran ningún caso límite para la variable potencial eléctrico - Ninguna respuesta los valores límites en que la posición de la partícula sea $x=0$ o $x=d$

indica explícitamente que “Analiza de manera cualitativa, con palabras y sin utilizar fórmulas, los siguientes aspectos ....”. Esta fijación operativa, puede contribuir a que ningún estudiante utilice razonamientos cualitativos relacionados con aspectos energéticos que explican de forma sencilla la evolución del sistema y la necesaria evolución hacia el reposo de los tubos.

En el caso del problema de las placas paralelas existen dos posibles marcos teóricos para analizar el problema de acuerdo con el nivel de conocimientos de los alumnos, el cinemático-dinámico y el energético. Sin embargo, ninguno de los estudiantes que explicita el marco teórico elige el modelo energético al igual que ha sucedido en el problema anterior. Esto parece confirmar una fijación funcional a una estrategia y a un marco teórico para examinar los problemas. Este déficit procedimental de no tener en cuenta el marco teórico, asociado al análisis cualitativo de la situación, y la forma de razonar basada en una fijación fun-

cional estratégica resultan determinantes de cara al planteamiento de la situación problemática y es incuestionable su incidencia en una resolución posterior.

Es preciso resaltar que las deficiencias observadas son coherentes con una enseñanza que habitualmente no destaca los límites de validez de los modelos y teorías que utiliza y que sólo ocasionalmente, explica la transversalidad del concepto de energía para analizar de forma potente y sencilla múltiples situaciones (Doménech et al. 2001). Esto último puede ser uno de los factores que llevan a los estudiantes a no analizar bajo el punto de vista energético las situaciones planteadas.

*C. Identificación de variables*

En cuanto a la identificación de las variables que influyen en la magnitud pedida, el fracaso aumenta conforme se

Gráfico 1

Identificación de las variables que influyen en la magnitud pedida en el problema de rotación varilla.

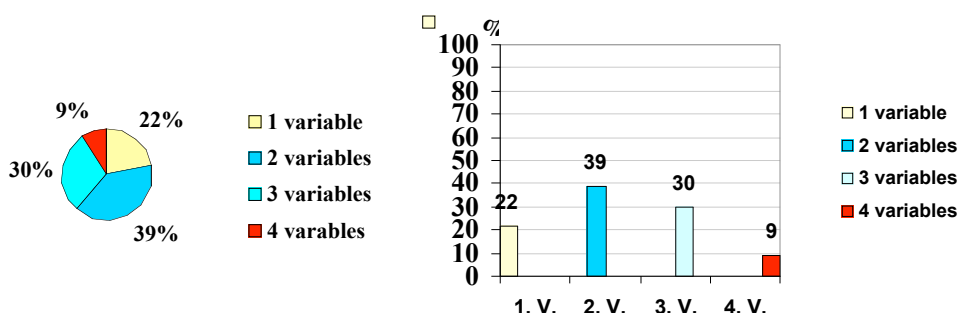
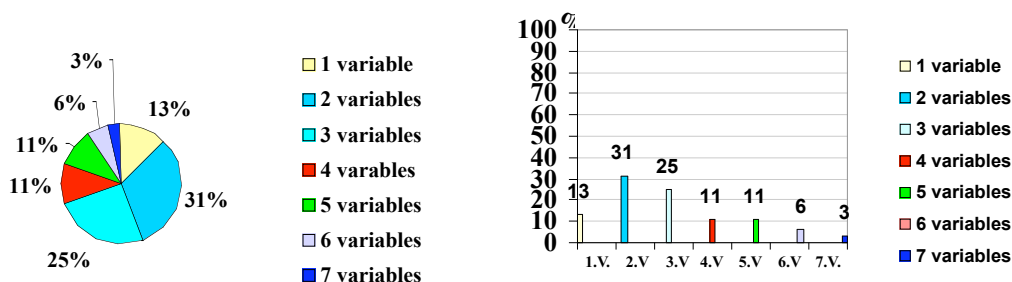


Gráfico 2

Identificación de las variables que influyen en la magnitud pedida en el problema de placas paralelas.



aumenta el número de variables que intervienen en el problema. Así para el problema de rodadura el 35% de los estudiantes no considera las dos variables velocidad lineal y angular y, en el problema de inducción magnética, en el que había que relacionar la variación de flujo con otras dos variables, el 11% habla de flujo magnético y no de su variación. Sin embargo, cuando los estudiantes interpretan la situación la gran mayoría (87%) no menciona la posible influencia del campo magnético y parece como si redujeran la dependencia del flujo sólo a la variables superficie en una reducción funcional de razonamiento monoconceptual que reduce la dependencia  $\Phi = \Phi(S, B)$  del flujo a  $\Phi = \Phi(S)$ .

En el problema de rotación de la varilla, de las diversas variables a considerar el 39% valora únicamente dos y el 30% tres, tal y como se refleja en el gráfico 1. En el problema de las placas paralelas de las diferentes variables posibles, el 31% considera dos y el 25% tres (Gráfico 2).

Estos resultados muestran que sólo 3 estudiantes en el tercer problema y un estudiante en el cuarto, tienen en cuenta un conjunto razonable de las variables que influyen para calcular la incógnita y, apoyan la hipótesis de que los estudiantes presentan una tendencia a no tener en cuenta todas las variables que influyen en el problema. Esta forma de razonar espontánea ha sido denominada por la investigación didáctica como reducción funcional (Viento, 1996). En particular, en el problema de rotación de la varilla ningún estudiante explícita que la única fuerza que interviene en la evolución del sistema es el peso y más del 80% de los estudiantes no consideran que la posición de la varilla afectará a la aceleración angular a través del momento del peso.

De acuerdo con lo anterior, en el problema de las placas paralelas casi la mitad de los estudiantes no tiene en cuenta que la variable carga influye en la velocidad de la misma y los porcentajes son mayores para las otras variables, llegándose a que casi las  $\frac{3}{4}$  partes no considera el espacio



---

recorrido por la partícula como una variable que influye en su velocidad final.

Volviendo al problema de rotación de la varilla, otra deficiencia observada en el razonamiento de los estudiantes es que casi el 90% no consideran que el aumento de la masa o de la distancia  $x$  puede aumentar o disminuir la aceleración angular del sistema. Parece que ante una situación compleja se va disminuyendo su complejidad a base de construir implicaciones simples del tipo una causa un efecto hasta dar la solución. Este tipo de razonamiento es denominado por Rozier (1988) razonamiento lineal causal y es considerado como una reducción funcional.

#### *D. Emisión de hipótesis*

Los resultados empeoran cuando se mide la emisión de hipótesis sobre las relaciones de dependencia entre las variables previamente identificadas así como cuando se analizan casos límite de especial relevancia física. Por ejemplo, en el problema de rodadura el 60% de los estudiantes no considera que una vez transcurrido cierto tiempo se alcanzan las condiciones de rodadura sin deslizamiento y el mismo porcentaje considera que en este estado la fuerza de rozamiento realiza trabajo y por tanto, concluyen erróneamente que la bola se parará. Respecto al problema de inducción magnética, ningún estudiante predice que la fuerza magnética debe ser opuesta al movimiento para no violar el principio de conservación de la energía y, sólo dos respuestas presentan una secuencia correcta en las predicciones de acuerdo con el marco teórico.

Así mismo, en el problema de la rotación de la varilla alrededor del 90% de los estudiantes no valora adecuadamente las relaciones de dependencia entre variables. En cuanto al análisis de los casos límite, alrededor del 80% no lo realiza para la variable  $x$  y el 90% no lo hace para la variable  $\theta$  y el porcentaje se mantiene cuando se trata de analizar casos límite. Respecto al problema de las placas paralelas, más de la mitad de los estudiantes no razonan la relación entre el potencial y la velocidad y el 86% de los estudiantes no considera casos límite con la variable potencial. Así mismo, ningún estudiante analiza los casos límites de la distancia  $x$  y la velocidad.

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y EXPECTATIVAS**

Hay que señalar que los enunciados propuestos no son abiertos ya que los problemas cerrados son los más familiares a los estudiantes y son los utilizados en la clase de Física. Este condicionante ha hecho que partes importantes de las valoraciones cualitativas que en torno a estas situaciones podrían realizarse, se ofrecen como información en el propio enunciado. Es por ello que ciertas capacidades relativas al análisis cualitativo no han podido ser detectadas en su totalidad. Así por ejemplo, la identificación de las distintas partes del problema o algunas acotaciones de la situación para modelizarla se realizan en el enunciado, eliminando la posibilidad de que sean los alum-

nos los que las elaboren.

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos indicar que cuando los estudiantes son guiados a realizar un análisis cualitativo presentan graves deficiencias en las principales etapas del mismo debido, en parte, a la utilización de razonamientos que dan muy poca relevancia a los contenidos procedimentales y que se pueden sintetizar a continuación:

– La capacidad procedimental de acotar la situación para modelizarla y simplificarla si es preciso, viene condicionada por una falta de hábito en imaginar diferentes alternativas y condiciones del problema. Los estudiantes no imaginan posibles alternativas.

Esto nos lleva a que:

– La capacidad procedimental para establecer de forma reflexiva un marco teórico de referencia venga condicionada por un razonamiento erróneo de «fijación funcional a una estrategia o a una ecuación» que hace imposible establecer criterios justificados que guíen la resolución del problema. Esto hace que marco teóricos como el modelo energético que, en ocasiones, facilitan enormemente la solución no sea empleado por ningún estudiante.

Consecuentemente:

– La capacidad procedimental de análisis de variables viene acompañada de un razonamiento incorrecto basada en la reducción funcional en la gran mayoría de los estudiantes. En ocasiones, esta reducción funcional consiste en reducir el análisis de variables a un razonamiento de la incógnita con una sola variable (reducción funcional monoconceptual) o bien, a establecer el efecto de las variables en un solo sentido y a no considerar interacciones entre variables (razonamiento lineal causal). Como consecuencia las predicciones sobre la evolución del sistema quedan muy limitadas como hemos comprobado.

– En la emisión de hipótesis casi la totalidad de los estudiantes establece erróneamente las dependencias entre las variables identificadas previamente y, el estudio de los casos límite es poco frecuente e incorrecto en la gran mayoría de las ocasiones.

El bajo nivel de conocimiento procedimental manifestado por los estudiantes nos está indicando los tipos de razonamientos comúnmente enseñados y qué destrezas cognitivas se están favoreciendo en la clase de resolución de problemas de Física a nivel universitario. Los resultados obtenidos parecen indicar que las estrategias de enseñanza utilizadas en clase para la resolución de problemas no favorecen que los estudiantes aprendan habilidades básicas para enfrentarse a problemas científicos, sino que más bien les llevan al aprendizaje repetitivo de una serie de razonamientos erróneos que les conducen al fracaso. Esto nos lleva a plantearnos cual debe ser el papel de las habilidades y procedimientos científicos en la clase de Física. ¿El conocimiento procedimental debe ser un prerrequisito para el aprendizaje de la Física en la Universidad o el Bachillerato (Secundaria no obligatoria) o los procedimientos del

trabajo científico deben ocupar un lugar prioritario entre los objetivos de un curso de Física en estos niveles?

Los resultados del trabajo sugieren que es necesario dedicar tiempo a trabajar de forma explícita los contenidos procedimentales que están relacionados con los contenidos conceptuales que se enseñan y que, los profesores deberíamos dedicar más tiempo a escuchar los razonamientos alternativos de los estudiantes. Los profesores deberíamos tener presente que los estudiantes ya poseen formas de enfocar las cuestiones y problemas prototípicos de metodología de «sentido común» (p. e. repitiendo mecánicamente una estrategia, dando respuestas rápidas y seguras basadas en evidencias sin reflexionar sobre las posibles soluciones alternativas,...). Si los profesores tuviéramos una actitud menos instrumental sobre los pasos que conducen a la resolución del problema y diésemos más tiempo a los estudiantes para que realizaran observaciones cualitativas sobre la situación problemática y se familiarizaran con ella, podría ser un buen camino para que los estudiantes encontraran posibles estrategias de solución de forma natural y no a través de la «ocurrencia» del profesor/a. Consideramos que los procedimientos de análisis

cualitativo de la situación y la consiguiente emisión de hipótesis son de considerable valor en el aprendizaje ya que permiten no sólo manejar los conceptos sino «hacer ciencia» (Furió, Iturbe y Reyes 1994). Los procedimientos incluidos en el análisis cualitativo llevan a los estudiantes a buscar significados en las situaciones problemáticas que les permitan realizar una *transición racional* del fenómeno observado a las estrategias de resolución establecidas en el marco teórico.

Así pues, será necesario el diseño de materiales didácticos que estimulen a los estudiantes a realizar aproximaciones cualitativas a los problemas. En nuestra opinión, enunciados de problemas que no indiquen todas las condiciones existentes o que no contemplen datos puede ayudar a que los estudiantes tengan que plantearse inicialmente la situación. Así mismo, conocer las formas de razonamiento de sentido común más utilizadas por los estudiantes al resolver problemas puede ayudar al profesor/a en el trabajo de orientar a los estudiantes a que piensen más en términos de hipótesis que de certezas al comenzar a resolver el problema y que eviten caer en un operativismo ciego.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF SCIENCE. (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, DC: AAAS.
- ANDERSON, J.R. (1990). *Cognitive psychology and its implications*. New York: W.H. Freeman.
- BAIRD, W.E., y BORICH, G.D. (1987). Validity considerations for research on integrated science process skills and formal reasoning ability, *Science Education*, 71 (2), pp. 259-269.
- 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, TH. y REICHARDT, CH. (1986). Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación educativa. Madrid: Morata.
- CORTAZZI, M. (1993). *Narrative Analysis*. London: Palmer Press.
- CUNNINGHAM, D. (1984). Semiosis and learning. In *Semiotics* 1984, pp. 427-433.
- DE PRO, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias* 16(1), pp. 21-41.
- DOMÉNECH J.L., GIL D., GRAS A., MARTÍNEZ-TORREGROSA J., GUIASOLA J. y SALINAS J. La enseñanza de la energía en la educación secundaria. Un análisis crítico, *Revista de Enseñanza de la Física*, 14(1), pp. 45-60.
- DUSCHL, R.A. (1988). Abandoning the scientific legacy of science education, *Science Education*, 72, pp. 51-62.
- FURIÓ, C.J., ITURBE, J. y REYES, J.V. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 24, pp. 89-99.
- FURIÓ, C., CALATAYUD, M.L., BÁRCENA S. y PADILLA D.H. (2000). Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and geometry and polarity of molecules. *Science Education*, 84, pp. 545-565.
- GAGNÉ, R.M. (1970). *The conditions of learning*, New York: Holt, Rinehart and Winston.
- GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1984). Problem solving in physics: a critical analysis, In *Research on Physics Education*, Paris: CNRS editors.
- GIL, D., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y SENENT, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: Una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 131-146.
- 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), pp. 301-315.
- GREENO, J.G. (1988). *Situated activities of learning and knowing in mathematics*. Paper presented at the 1988 Annual Meeting of the PME-NA, DeKalb, IL.

- GUISASOLA, J., ALMUDI, J.M., CEBERIO, M. y ZUBIMENDI J.L. (1998). ¿Contribuye la enseñanza de los problemas-tipo al aprendizaje significativo de los conceptos y principios fundamentales de la Física en primer curso de Universidad? In *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias* vol. 2, pp. 140-151. Edit. Murcia DM.
- IZQUIERDO M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en J. Perales y P. Cañal (Eds.) *Didáctica de las Ciencias*, Editorial Marfil.
- KIRSCHNER, P., MEESTER, M., MIDDELBEEK, E y 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), pp. 175-197.
- 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), pp. 165-187.
- LOCK, R. (1992). Gender and practical skill performance in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (3), pp. 227-241.
- MALONEY, D.P. (1994). Research on Problem solving: Physics. In *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, pp. 327-354.
- MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La Resolución de Problemas de Física como Investigación: Un instrumento de Cambio Metodológico*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- MILLAR, R. (1994). What is scientific method? In R. Levinson, *Teaching Science*, London: Rotledge, pp. 41-48
- NATIONAL SCIENCE EDUCATION STANDARDS (1996). In National Academy Press, Washington DC.
- NIGRO, R. (1995). Un modelo de prueba escrita que revela capacidades relacionadas con el proceso de aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), pp. 347-361.
- NICKLES, T. (1981). What is a problem that we may solve it? *Synthese*, 47, pp. 85-118.
- OÑORBE, A. y SÁNCHEZ, J.M. (1996). Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de física y química. II. Opiniones del profesor. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 251-260.
- PERALES, F. J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 170-178
- PERALES J. (2000). *Resolución de problemas*. Editorial Síntesis. Madrid.
- RAMÍREZ, J.L, GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.M. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como investigación*, Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia: CIDE
- REYES, V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación: Un propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*, Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.
- ROTH, W.M. (1989). Confirmatory factor analysis for validity consideration: A critique, *Science Education*, 73(6), pp. 649-655.
- ROTH, W.M. y ROYCHOUDHURY, A. (1993). The development of science process skills in authentic contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), pp. 127-152.
- ROZIER (1989). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique élémentaire*. Thèse, Université Paris 7, LDPES.
- 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), pp. 209-220.
- SCHÖN, D.P. (1992). *La formación de profesionales reflexivos*, Barcelona: Paidós.
- SIGÜENZA, A. y SÁEZ, M.J. (1990). Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), pp. 223-230.
- SIMON, H.A. (1981). *The science of the artificial*. Cambridge, MA: MIT Press.
- SUCHMAN, L.A. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human-machine communication*, Cambridge: Cambridge University Press.
- TAMIR, P. y GARCÍA, M.P. (1992). Characteristics of laboratory exercises included in science textbooks in Catalonia (Spain). *International Journal of Science Education*, 14(4), pp. 381-392.
- TOBIN, K.G. y CAPIE, W. (1982). Relationships between classroom process variables and middle school science behavior, *Journal of Educational Psychology*, 74, pp. 441-454.
- TOMKINS, S.P. y TUNNICLIFFE, S.D. (2001). Looking for ideas: observation, interpretation and hipótesis-making by 12-year-old pupils undertaking science investigations, *International Journal of Science Education*, 23(8), pp. 791-813.
- VARELA, M.P. y MARTÍNEZ, M.M. (1997). Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la física: la resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 173-188.
- VIENNOT, L. (1992). Raisonement à plusieurs variables: tendances de la pensée commune, *Aster*, 14, pp. 127-141.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique*. Paris: De Boeck.
- WATSON, J. (1994). Student's engagement in practical problem solving: a case study, *International Journal of Science Education*, 16(1), pp. 27-43.
- YAP, K.C. y YEANY, R.H. (1988). Validation of hierarchical relationships among Piagetian cognitive modes and integrated science process skills for different cognitive reasoning levels, *Journal of Research in Science Teaching*, 25(4), pp. 247-281.

