

**Universidad de Alicante  
Facultad de Ciencias  
Departamento de Física Aplicada**

**La enseñanza de la mecánica newtoniana con una  
estructura problematizada en el primer curso  
universitario**

**Efectos sobre el clima del aula, el aprendizaje conceptual y la capacidad para la  
resolución de problemas**

**Tesis doctoral presentada por:**

**Carlos Becerra Labra**

**Directores: Prof. Dr. Joaquín Martínez Torregrosa  
Prof. Dr. Albert Gras Martí**

**Alicante - 2004**



**Dedico este trabajo:  
A la memoria de mi madre.  
A mi hijo Rodrigo.**



## **Agradecimientos**

Agradezco en forma muy especial a mis Directores de Tesis, Dr. Joaquín Martínez Torregrosa y Dr. Albert Gras Martí, por su permanente disposición hacia mi persona, por sus enseñanzas, consejos y apoyo.

Deseo manifestar mis sinceros agradecimientos al Señor Rector de la Universidad de Talca, Dr. Álvaro Rojas Marín, por su permanente apoyo tanto desde el punto de vista académico como personal.

Agradecimientos muy especiales a Marisa Cano Villalba por su disposición hacia mi persona, colaboración y apoyo.



---

## **Planteamiento del problema e índice general**

### **Planteamiento del problema**

La enseñanza de las ciencias en el nivel universitario y preuniversitario está actualmente en un proceso de desarrollo y cambio en todo el mundo (Redish y Rigden, 1997; Tiberghien et al., 1998; Gil y Vilches, 1999). Éste se debe, en parte, a las evidencias aportadas por la investigación sobre el fracaso generalizado de buena parte de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias, y también a las demandas planteadas por la sociedad de una educación que debería favorecer la alfabetización científica del ciudadano de este nuevo milenio (AAAS, 1989) y una preparación para las nuevas necesidades de los puestos de trabajo en un contexto caracterizado por una disminución de las tareas rutinarias (paulatinamente automatizadas) y un aumento de las destrezas de alto nivel intelectual.

Todos los estudiantes, y no sólo unos pocos, necesitan aprender cómo pensar, razonar, analizar y comunicar eficazmente, cómo solucionar situaciones problemáticas complejas, y trabajar con grandes cantidades de datos, seleccionando aquellos pertinentes para la toma de decisiones. No sólo es importante la comprensión profunda del contenido conceptual de las distintas materias, sino también, y simultáneamente, el desarrollo de destrezas complejas de pensamiento necesarias para desenvolverse competentemente en dichas materias (Black, 2000; NRC, 2001).

Todas estas tendencias pueden resumirse en la aspiración de enseñar a los estudiantes a enfrentarse a situaciones problemáticas, a resolver problemas. Como explícitamente señalan los National Science Education Standards (1996): "...en todos los niveles, la educación científica debe basarse en la metodología de la investigación..."; y también, informes elaborados por diferentes asociaciones y colectivos profesionales y sociales (FEANI, 1986; FUNDESCO, 1986) inciden en propuestas análogas: "...la enseñanza universitaria ha de desarrollar en los estudiantes destrezas que les capaciten para resolver problemas y para trabajar en equipo...".

En lo que se refiere al proceso de enseñanza y aprendizaje de la física en los primeros niveles universitarios, resulta preocupante el fracaso más o menos generalizado de los estudiantes. Este hecho se manifiesta en un alto índice de reprobación y abandono de estudiantes. Con la intención de superar esta situación, algunas universidades chilenas han aplicado diversas estrategias, entre las cuales sólo mencionaremos: El aumento en el número de hora-aula dedicada a resolver problemas de “lápiz y papel” (aumento de ayudantías profesionales), el aumento de las colecciones de ejercicios, y el repaso de algunas materias o temas de la educación secundaria.

A pesar del esfuerzo y tiempo dedicado a cambiar dicha situación, los resultados obtenidos son pocos satisfactorios, el alto índice de reprobación y abandono de estudiantes, se mantiene.

Como profesores de materias científicas sabemos que la resolución de problemas de “lápiz y papel” es una actividad a la que se suele dedicar mucho tiempo, tanto dentro como fuera del aula. Ello responde, claro está, a que se la considera una actividad privilegiada de aprendizaje (para “aclarar, aplicar o movilizar” los conceptos) y de evaluación (Guisasola et al., 2003) como indica su preponderancia en los exámenes habituales. Sin embargo, basta con reflexionar mínimamente sobre nuestra experiencia como profesores de ciencias para constatar el fracaso generalizado de los estudiantes cuando se enfrentan por sí solos a un problema que se separe, aún ligeramente, de los resueltos en clase. ¿Cómo es posible que a pesar del tiempo dedicado a la resolución de problemas, se produzca esa aparente incapacidad para enfrentarse a nuevos problemas?

En la enseñanza habitual, la aspiración de la educación científica actual de “enseñar a los estudiantes a enfrentarse a problemas”, y de desarrollar destrezas de alto nivel intelectual simultáneamente con el conocimiento de un campo específico, en la realidad, suele limitarse a la resolución de problemas de “lápiz y papel” al final de los temas.

En nuestra opinión, tomarse en serio los objetivos y aspiraciones de la educación científica actual implica organizar toda la enseñanza de las ciencias, y de la física en particular, como un proceso de investigación dirigida en torno a problemas de interés, es decir, con una estructura problematizada (modelo de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida), donde la resolución de problemas de “papel y lápiz” adquiere el estatus de “situaciones de puesta a prueba de los conceptos y modelos inventados para avanzar en la solución a

problemas más amplios” (Martínez Torregrosa et al, 1994; Gil et al, 1999; Verdú et al., 2002; Martínez Torregrosa et al., 2003). Este modelo de enseñanza de las ciencias se enmarca en el paradigma de enseñanza como investigación (Gil, 1983), tiene en cuenta las concepciones alternativas de los estudiantes, persigue un cambio conceptual (Posner et al., 1982), metodológico (Gil y Carrascosa, 1985a; Gil, 1986; Hashweh, 1986) y actitudinal (Aikenhead, 1985; Solbes y Vilches, 1989), para lo cual utiliza los aspectos esenciales del trabajo científico como forma de ejercitar la creatividad de manera rigurosa y contrastable.

Nuestra intención es producir un cambio significativo de la situación actual en las aulas de la ciudad de Talca (Chile). Para ello, vamos a desarrollar la enseñanza de la física en el primer curso universitario con una estructura problematizada, donde existan sistemática y reiteradamente oportunidades de poner en práctica las formas de pensamiento y acción de la actividad científica. En otras palabras, queremos probar en qué medida la enseñanza de toda una asignatura científica universitaria, la mecánica newtoniana en particular, estructurada en forma problematizada, genera un cambio cualitativo en la enseñanza y aprendizaje de la física. En qué medida se generan oportunidades adecuadas para aprender en el aula, y en qué medida mejoran las actitudes, el aprendizaje conceptual y la capacidad de resolución de problemas de “lápiz y papel” de los estudiantes.

Tomaremos como referencia para el cambio, la situación actual de la enseñanza y aprendizaje de la resolución de problemas de “lápiz papel” (debido al rol que ocupa en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física) en los dos últimos años de la educación secundaria y primer curso universitario de la ciudad de Talca, así como un grupo de control del mismo nivel y especialidad de la misma universidad donde se realiza esta investigación.

Por tanto, nuestro trabajo de investigación se divide en dos partes:

1. A modo de referencia contextualizada se realiza un análisis de la situación actual: ¿En qué medida lo que se hace actualmente en nuestras aulas es coherente con lo que debería hacerse para enseñar a los estudiantes a enfrentarse y resolver problemas de física?
2. A continuación se procede a la planificación, desarrollo y análisis de los efectos de la enseñanza de una asignatura científica completa en el primer curso universitario con una estructura problematizada (modelo de enseñanza de las ciencias como investigación dirigida, o por resolución de problemas).

Una vez aclarados los objetivos del presente trabajo de investigación, el esquema general queda de acuerdo al índice que sigue en la próxima página.

# Índice general

Planteamiento del problema	7
----------------------------	---

## Primera Parte

<b>Capítulo 1: Evolución histórica en la enseñanza de las ciencias: Algunos fundamentos epistemológicos y análisis crítico</b>	19
<b>Capítulo 2: La enseñanza de las ciencias como investigación dirigida o por resolución de problemas</b>	27

## Segunda Parte

<b>Capítulo 3: Enunciado y justificación de la primera hipótesis de trabajo</b>	39
3.1 Formulación de la primera hipótesis de trabajo	39
3.2 Justificación de la primera hipótesis de trabajo	40
<b>Capítulo 4: Operativización de la primera hipótesis y diseños experimentales para su contrastación</b>	49
4.1 Operativización de la primera hipótesis de trabajo y visión general del diseño experimental	49
4.2 Instrumento diseñado para comprobar la ausencia en los libros de texto de física de los indicadores de una resolución de problemas coherente con la metodología científica	56

4.3	Instrumentos diseñados para comprobar la ausencia en las prácticas docentes de los profesores de los indicadores de una resolución de problemas de física coherente con la metodología científica	61
4.4	Instrumento diseñado para comprobar la ausencia en los estudiantes de los indicadores de una resolución de problemas de física coherente con la metodología científica	71
<b>Capítulo 5:</b>	<b>Presentación y análisis de los resultados obtenidos en la contrastación de la primera hipótesis de trabajo</b>	79
5.1	Resultados obtenidos al analizar cómo se resuelven los problemas física en los libros de texto	80
5.2	Resultados obtenidos al analizar la práctica docente de los profesores de física cuando resuelven problemas	82
5.3	Resultados obtenidos al analizar el modo de actuar de los estudiantes cuando resuelven problemas de física	87
5.4	Análisis de los resultados obtenidos en la contrastación de la primera hipótesis de trabajo	89
<b>Capítulo 6:</b>	<b>Conclusiones de la primera hipótesis de trabajo y perspectivas</b>	103
<b>Tercera Parte</b>		
<b>Capítulo 7:</b>	<b>Enunciado y justificación de la segunda hipótesis de trabajo</b>	109
7.1	Formulación de la segunda hipótesis de trabajo	109
7.2	Justificación de la segunda hipótesis de trabajo	110

<b>Capítulo 8: Operativización de la segunda hipótesis de trabajo y diseños experimentales para su contrastación</b>	121
8.1 Operativización de la segunda hipótesis de trabajo y visión general del diseño experimental	121
8.2 Instrumentos diseños para valorar en qué medida la metodología propuesta suministra oportunidades adecuadas en el aula para que los estudiantes aprendan con comprensión	125
8.3 Instrumento diseñado para comprobar que se produce en los estudiantes un aumento significativo en la capacidad para resolver problemas de física	145
8.4 Instrumentos diseñados para comprobar que se modifica positivamente la actitud e interés de los estudiantes hacia la física	151
8.5 Instrumento diseñado para comprobar que la significatividad del aprendizaje producido se mantiene tiempo después de la instrucción recibida	154
<b>Capítulo 9: Presentación y análisis de los resultados obtenidos en la contrastación de la segunda hipótesis de trabajo</b>	165
9.1 Resultados y análisis de la valoración: En qué medida la metodología propuesta suministra oportunidades adecuadas en el aula para que los estudiantes aprendan con comprensión	167
9.2 Resultados y análisis de la mejora producida en la capacidad para resolver problemas de física	181

9.3	Resultados y análisis de la valoración de las actitudes e intereses de los estudiantes	207
9.4	Resultados obtenidos al medir el nivel de “recuerdo” de la instrucción recibida	215
9.5	Análisis de los resultados obtenidos en la contrastación de la segunda hipótesis de trabajo y conclusiones	234
<b>Capítulo 10: Conclusiones finales del trabajo y perspectivas</b>		241
<b>Referencias bibliográficas</b>		245
<b>Anexos</b>		
<b>Anexo 1: Programa - guía de actividades</b>		257
<b>Anexo 2: Problema resuelto extraído de un libro de física usado habitualmente</b>		345
<b>Anexo 3: Listado de los libros de física analizados</b>		351