



Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la Física en Bachillerato



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA

cide

Centro de
Investigación y
Documentación Educativa

Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la Física en Bachillerato

José Luis Sierra Fernández

PRIMER PREMIO NACIONAL *EX AEQUO* DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA 2004

MODALIDAD TESIS DOCTORALES



N.º 167

Colección: INVESTIGACIÓN



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
SECRETARÍA GENERAL DE EDUCACIÓN

Dirección General de Educación, Formación Profesional e Innovación Educativa
Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE)

Edita

© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
Subdirección General de Información y Publicaciones

NIPO: 651-05-295-9
ISBN: 84-369-4119-5
Depósito Legal: M. 49.974-2005

Diseño de cubierta: Gallego & Santos Asociados
Imagen de cubierta: Cuadro original de Pablo Isidoro *Arquitecturas I*
Diseño y maquetación: Charo Villa

Imprime: FER FOTOCOMPOSICIÓN

Una mente bien ordenada significa que, más que acumular el saber, es mucho más importante disponer a la vez de una aptitud general para plantear y tratar los problemas, y de principios organizativos que permitan unir los saberes y darles sentido.

EDGAR MORIN. ***La mente bien ordenada.***

... porque ésta es la escala gradual de nuestro entendimiento: primero, entender las cosas o creer que las entendemos; segundo, entenderlas bien; tercero, entenderlas mejor; cuarto, entender que no hay manera de entenderlas sin mejorar nuestras entendederas. Cuando esto lleguéis a entender, estaréis en condiciones de entender algo...

ANTONIO MACHADO. ***Juan de Mairena.***

Agradecimientos

Al profesor y amigo D. Francisco Javier Perales Palacios, director de la tesis doctoral, siempre dispuesto a escucharme y a ofrecerme las claves que me han permitido afrontar las dificultades surgidas.

A la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía, por la concesión de una licencia por estudios durante el curso académico 2002-03.

A todos aquellos compañeros que de un modo u otro han colaborado en el desarrollo de esta investigación, en especial a D. Manuel Fernández González, D. Antonio Sánchez Martínez y D.^a Sabina Martínez López, por su predisposición favorable y su activa participación.

A mis alumnos, que sin ellos saberlo me estaban enseñando mucho más de lo que había imaginado.

Además, quisiera hacer una mención especial: a mis padres, por allanarme el camino que me ha permitido llegar hasta aquí; a Ana y Ángel, por su preocupación sincera durante todos estos años; a Mar y Jaime, por la amistad que nos une; a todos los amigos de Almería, por seguir siendo los mismos a pesar del tiempo y del espacio.

Y por supuesto, quisiera dedicar este trabajo a Ana, por haberme transmitido su ilusión por la investigación, por haberme dado la energía necesaria para vivir los días en la distancia, por haberme procurado el equilibrio que sólo confiere la felicidad y, en definitiva, por ser quien da sentido a todo. Gracias por estar siempre ahí.

Índice

INTRODUCCIÓN	11
1. Contexto de la investigación	11
2. Objetivos generales de la tesis	16
3. Presentación de los capítulos	16
CAPÍTULO 1	
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
Introducción	23
1. Aportaciones de la Psicología a la enseñanza de las ciencias	25
1.1. Aprendizaje por asociación	25
1.1.1. Asociacionismo conductual	25
1.1.2. Teorías computacionales o del procesamiento de la información	26
1.1.2.1. Teoría ACT (<i>Adaptive Control of Thought</i>) de Anderson	26
1.1.2.2. Teoría de los esquemas	26
1.1.2.3. Teoría de los modelos mentales	27
1.2. Aprendizaje por reestructuración	27
1.2.1. Psicología de la <i>Gestalt</i>	27
1.2.2. Teoría de la equilibración de Piaget	27
1.2.3. Teoría del aprendizaje de Vygotskii	28
1.2.4. Teoría del aprendizaje asimilativo o significativo de Ausubel	29
2. Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias	30
2.1. Enseñanza por descubrimiento	30
2.2. Enseñanza expositiva	31
2.3. Enseñanza mediante el conflicto cognitivo	32
2.4. Enseñanza mediante investigación dirigida	33
2.5. Enseñanza por explicación y contrastación de modelos	34
3. Ideas previas sobre Mecánica en los estudiantes	35
4. Contenidos procedimentales y actitudinales de ciencias experimentales	45
5. Resolución de problemas	47
6. Evolución del uso de los ordenadores en educación	50
7. Diseño de <i>software</i> educativo	55
8. Proyectos de Informática Educativa	57

9. Integración de las tecnologías de la información y comunicación en los centros educativos	62
10. La evaluación del <i>software</i> educativo	63
11. El ordenador como meta-medio simbólico	64
12. El ordenador como herramienta cognitiva	66
13. Entornos de aprendizaje con ordenador	67
14. La simulación por ordenador	70
15. Interacciones en el aula de Informática y nuevas funciones del profesor	73
16. La indagación científica y los micromundos informáticos	75
17. Investigaciones en el aula	77
18. La imagen en las actividades científicas	81
19. Consideraciones didácticas sobre el uso del ordenador en el aula	82
20. La cuestión de las prácticas de referencia en el uso del ordenador	84
21. La simulación como soporte de distintos tipos de representación	85
22. Conclusiones	86

CAPÍTULO 2

PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	89
Introducción	91
1. Contexto curricular de la investigación	92
2. Hipótesis	93
3. Objetivos	94
4. Variables independientes	94
5. Variables dependientes	95
6. Instrumentos de medida	95
7. Muestra	97
8. Programas informáticos	98
8.1. Dinamic para Windows	98
8.2. Mobile	99
8.3. Varios simuladores creados con Interactive Physics	101
9. Experimentación en el aula	102
9.1. Primera fase de la investigación	103
9.2. Segunda fase de la investigación	104
9.3. Tercera fase de la investigación	105
9.4. Cuarta fase de la investigación	105
10. Análisis de datos	106

CAPÍTULO 3

DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL SOFTWARE DIDÁCTICO	107
Introducción	109

1. Dinamic	109
1.1. Antecedentes	109
1.2. Características técnicas y didácticas	112
2. Mobile	118
2.1. Características generales	118
2.2. Interacción programa informático-profesor	119
2.3. Interacción programa informático-estudiante	122
2.4. Evaluación del entorno informático	126
3. Interactive Physics	127
3.1. Características generales	127
3.2. Descripción de los simuladores desarrollados	128
3.3. Evaluación del entorno Interactive Physics	128

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y DEL MATERIAL CURRICULAR

Introducción	131
1. Test conceptual	134
2. Cuestionario de evaluación del <i>software</i> didáctico	138
3. Actividades de investigación	142

CAPÍTULO 5

SITUACIÓN DE LOS ALUMNOS EN LA FASE PRE-INSTRUCTIVA

Introducción	147
1. Nivel de razonamiento lógico	147
2. Nivel de conocimiento conceptual	148
3. Nivel de conocimiento procedimental	163
4. Nivel de conocimiento actitudinal	165
4.1. Test de Penichet y Mato	166
4.2. Test de García	167
4.3. Test de Vázquez y Manassero	168
4.4. Cuestión sobre la naturaleza de la investigación científica y el procesamiento de los datos experimentales	174
5. Nivel de conocimiento de informática	174
6. Análisis del conocimiento científico	175
6.1. Fuerza y movimiento	176
6.2. Movimiento oblicuo y velocidad	176
6.3. Representación gráfica de fuerzas y trayectorias	178
6.4. Peso, gravedad y caída libre de graves	179
6.5. Fuerza y aceleración	179

CAPÍTULO 6

DESCRIPCIÓN DE LA FASE INSTRUCTIVA	181
Introducción	183
1. Primera fase de la investigación	183
2. Segunda fase de la investigación	186
3. Tercera fase de la investigación	189
4. Cuarta fase de la investigación	190

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD INSTRUCCIONAL Y DE LOS RESULTADOS POST-INSTRUCCIONALES	193
Introducción	195
1. Conocimiento conceptual	195
2. Conocimiento procedimental	205
3. Conocimiento actitudinal	209
3.1. Test de Penichet y Mato	209
3.2. Test de García	214
3.3. Test de Vázquez y Manassero	218
4. Opinión de los alumnos sobre las actividades con simulador	225
5. Análisis de los informes de investigación	226
6. Observaciones de aula	232
7. Registros informáticos	234
8. Grabación de audio	235

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES, IMPLICACIONES DIDÁCTICAS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	237
Introducción	239
1. Conclusiones	240
1.1. Conclusiones en relación con las hipótesis	240
1.2. Conclusiones en relación con los objetivos	242
1.3. Conclusiones en relación con la fase pre-instruccional	243
1.4. Conclusiones en relación con la fase instruccional	243
1.5. Conclusiones en relación con la fase post-instruccional	244
2. Implicaciones didácticas	244
3. Líneas futuras de investigación	245
Anexos	247
1. Actividades de investigación	249
2. Test conceptual	255
3. Lista de control para la evaluación del <i>software</i>	259

4. Situaciones problemáticas para familiarizar a los alumnos con la metodología hipotético-deductiva	263
5. Test de Penichet y Mato	267
6. Test de García	271
7. Test de Vázquez y Manassero	275
8. Test de conocimiento informático	281
9. Cuestión sobre el uso del ordenador por los científicos	285
10. Resultados estadísticos	289
11. Test sobre procedimientos	305
12. Test de razonamiento lógico: TRL	309
13. Encuesta de opinión sobre las actividades con simulador	315
14. Descripción del contenido del CD-ROM	319
Referencias bibliográficas	323

Introducción

La introducción a la tesis pretende ofrecer una perspectiva global de la labor investigadora llevada a cabo, así como de los objetivos generales planteados.

Con este fin, se describe la situación personal y profesional que, a modo de caldo de cultivo, ha alimentado mi preocupación inicial por la brecha tecnológica existente en la educación científica pre-universitaria y, posteriormente, ha guiado mi ocupación continuada en la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación a la educación científica. En este sentido, la experiencia con simuladores en el aula, que constituyó el germen de esta investigación, es descrita brevemente.

Asimismo, se exponen los objetivos generales perseguidos en este estudio y se presentan los capítulos de esta memoria de tesis.

Para finalizar esta introducción, se muestra un organigrama general de la tesis con objeto de facilitar su lectura.

1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio desarrollado en esta tesis se sitúa en un ámbito interdisciplinar donde confluyen la Didáctica de las Ciencias Experimentales y la Informática Educativa. La sinergia entre ambas disciplinas ha posibilitado, en el marco de esta investigación, la elaboración y validación de nuevo material curricular para la enseñanza de la Mecánica newtoniana en Bachillerato. Este proceso se caracteriza por su complejidad y su alto coste, ya que no sólo es necesario fijar unos objetivos y unos contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales compatibles con el currículo oficial de Física y Química (conocimiento legal), una metodología y estrategia didáctica adecuadas al alumnado destinatario y a la materia impartida (conocimiento de Didáctica de las Ciencias Experimentales), sino que además se precisa de las herramientas y técnicas informáticas avanzadas para el diseño, desarrollo y evaluación del *software* con finalidad educativa (conocimiento de ingeniería de *software*).

Estos requerimientos obligarían a trabajar en estrecha colaboración a profesores de Física y Química de educación secundaria, expertos en informática y especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Desgraciadamente con demasiada frecuencia, los productos informáticos para la enseñanza de la Física y Química, y en general para cualquier contenido educativo, desaprovechan el potencial didáctico del ordenador.

Esta tesis pretende probar que el *software* educativo fundamentado sólidamente en la didáctica de la disciplina enseñada, sometido a una evaluación formativa en el aula y utilizado por

los estudiantes mediante una estrategia adecuada, constituye un recurso didáctico que potencia nuevos aprendizajes tanto en los alumnos como en el profesor.

Ante la dificultad de crear un equipo multidisciplinar de profesionales para la investigación y desarrollo de *software* educativo, inicio mi formación en Didáctica de las Ciencias Experimentales en 1998 a través del Programa de Doctorado del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada.

En cuanto a mi formación en Informática, ésta se inicia a final de la década de los ochenta a través de distintas asignaturas de la licenciatura de Ciencias Físicas y del curso de programador de aplicaciones científico-técnicas, organizado por el Centro de Informática de la Universidad de Granada.

Estos estudios aportaron los conocimientos necesarios para la programación en los lenguajes FORTRAN 77 y Pascal.

Durante el año 1990 una beca de la Fundación Empresa Pública-ENDESA en la Central Térmica de Carboneras (Almería) me permitió ampliar mi formación en Informática técnica.

Desde 1992 hasta 1998 he ejercido como profesor de educación secundaria de Física y Química en varios institutos de Granada. Mi labor docente e investigadora la vengo desarrollando en el IES Abdera de Adra (Almería) desde 1998.

A lo largo del año 1993 una colaboración¹ con el Departamento de Electromagnetismo de la Universidad de Granada me permite desarrollar programas informáticos de simulación de ciertos fenómenos de propagación y radiación de ondas electromagnéticas.

La actividad en el campo de la Informática Educativa se inicia en 1995, con el diseño y desarrollo de dos programas de simulación (Dinamic y Electrómetro) en lenguaje Pascal para entorno MS-DOS, presentados en sendas jornadas² sobre *software* educativo organizadas por los Centros de Profesores de Guadix y Granada. Estos simuladores didácticos fueron utilizados por alumnos de 3.º de ESO y de 2.º de Bachillerato en la resolución de actividades de investigación. Las observaciones de aula y los comentarios de los estudiantes orientaron las posteriores correcciones y mejoras efectuadas sobre los programas.

Una estancia en el Departamento de Química Analítica de la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona durante el mes de julio de 1995 me acercó al conocimiento de programas y técnicas de Inteligencia Artificial (sistemas expertos y redes neuronales artificiales) aplicados al tratamiento de datos experimentales^{3,4}.

En el curso académico 1995-96 organicé un taller sobre “simulación de fenómenos físicos por ordenador” en el marco de unas jornadas de actividades extraescolares desarrolladas en el IES Luis Bueno Crespo de Ogijares (Granada). El taller tuvo una gran aceptación tanto entre los estudiantes de segundo ciclo de ESO como de Bachillerato, a pesar de la modestia de los progra-

¹ Sierra, J. L., Sánchez, I., Salinas, A. y Gómez, R. (1993), “Modelo de fuente de alimentación δ -gap en el estudio de antenas de hilo mediante el método de los momentos en el dominio del tiempo”, *VIII Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, Universidad Politécnica de Valencia, 22-24 de septiembre.

² “Programas Dinamic y Electrómetro”, (1996), *IV Jornadas de Software Educativo*, Granada, 25-27 abril.

³ Sierra, J. L. y García-Campaña, A. M. (1997), “La enseñanza del sistema periódico de los elementos químicos mediante una red neuronal artificial”, *V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Murcia, 10-13 de septiembre.

⁴ García-Campaña, A. M., Sierra, J. L., Cuadros, L., Alés, F. y Román, M. (1997), “Alamin: A chemometric program to check analytical method performance and to assess the trueness by standard addition methodology”, *Trends in Analytical Chemistry*, 16 (7), 381-385.

mas utilizados (la mayoría ejecutados en DOS) y de los ordenadores disponibles (286 y 386). Los temas tratados por los simuladores fueron diversos: óptica, física nuclear, electromagnetismo, circuitos eléctricos, gravitación, dinámica, cinemática, etc.

Ante la respuesta favorable de los alumnos, volví a organizar el mismo taller en el siguiente curso académico (1996-97) pero incorporando ciertas modificaciones.

Con objeto de que los estudiantes interesados aprovecharan mejor la experiencia, decidí limitar el número de asistentes al taller, utilizar ordenadores más potentes y reducir el número de simuladores utilizados, delimitando así los contenidos a estudiar. Ante esta nueva situación, vislumbré la posibilidad de validar en el aula tres programas de simulación.

En consecuencia, el taller de “simulación de fenómenos físicos por ordenador”, que comenzó siendo una experiencia de innovación, se convierte en una investigación de aula (Perales, Sierra y Vilchez⁵, 2002), desarrollada a lo largo de tres días, con una duración de 12 horas (Sierra y Perales⁶, 1999).

Los alumnos asistieron voluntariamente: 10 de tercer curso de ESO y seis de segundo curso de Bachillerato. Cada estudiante realizó individualmente una serie de actividades de mecánica, gravitación y circuitos eléctricos con ayuda de los correspondientes simuladores ejecutados en un ordenador *pentium*.

La estrategia instruccional consistió en tres etapas:

1. Explicitar las ideas alternativas de cada alumno a través de un pre-test conceptual.
2. Generar un conflicto conceptual entre las ideas previas del alumno y los fenómenos observados en la pantalla del ordenador. Para ello, el alumno debe resolver distintos problemas cualitativos con los simuladores didácticos, que involucran cuestiones científicas sobre las cuales el estudiante posee sus propias concepciones alternativas.
3. Promover en el estudiante la acomodación cognitiva entre lo que observa y las nuevas ideas, con ayuda del profesor y de los compañeros.

Se utilizaron tres programas de simulación:

- Gravity⁷: un simulador didáctico de órbitas planetarias que permite al alumno modificar distintas variables (número de planetas, sus masas, posiciones y velocidades iniciales, la intensidad de la atracción y el factor de escala temporal). Los objetivos didácticos planteados en la utilización de este programa fueron: comprobar la ley de gravitación universal, las leyes de Kepler, el principio de acción y reacción, y la invarianza de la aceleración en la caída libre.
- Dinamic: un programa didáctico desarrollado por el autor de esta tesis (Sierra⁸, 1997), que simula el movimiento con o sin rozamiento de una partícula encerrada en una caja y sometida a un campo de fuerzas que puede ser constante, variable con la distancia o central. El alumno selecciona el tipo de fuerza, la masa, la posición y la velocidad inicia-

⁵ Perales, F. J., Sierra, J. L. y Vilchez, J. M. (2002), “¿Innovar, investigar? ¿Qué hacemos en didáctica de las ciencias?” *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 34, Octubre, 71-81.

⁶ Sierra, J. L. y Perales, F. J. (1999), “Validation à petite échelle d'un environnement d'apprentissage par découverte fondé sur la simulation de phénomènes physiques, dans l'enseignement secondaire,” *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 93, núm. 814, 809-821.

⁷ Gravity 1.0 (1991), TMA, Natick, Massachusetts.

⁸ Sierra, J. L. (1997), “DINAMIC: Un programa didáctico para la simulación en 2-D de la dinámica de una partícula confinada bajo distintos campos de fuerza”, *Revista Española de Física*, 11 (1), 57-59.

les y el tipo de colisión contra las paredes. El simulador permite abordar los siguientes objetivos didácticos: comprobar el principio fundamental de la dinámica, el principio de inercia y el efecto del rozamiento en el movimiento; analizar distintos tipos de movimiento. Este programa didáctico⁹ fue premiado en el II Concurso de Programas informáticos y Páginas web Educativas, convocado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía en 1999 (BOJA núm. 10 de 27-01-2000).

- Electronics Workbench¹⁰: este programa permite representar circuitos electrónicos y simular su funcionamiento. Además contiene una completa librería de dispositivos electrónicos que pueden ser añadidos al circuito. El alumno puede medir fácilmente las magnitudes eléctricas con un polímetro y un osciloscopio “virtuales”. Los objetivos didácticos propuestos son: comprobar la ley de Ohm, distinguir el comportamiento de un circuito abierto de otro cerrado y caracterizar el comportamiento de los circuitos en serie y en paralelo.

La hipótesis de la investigación fue considerar que las actividades de simulación asistida por ordenador, adecuadamente guiadas por el profesor, ayudan de manera significativa al aprendizaje de los contenidos de mecánica, gravitación y electrocinética en educación secundaria.

Para probar esta hipótesis se comparó estadísticamente las respuestas de los alumnos en un test conceptual previo a las sesiones con ordenador y las respuestas obtenidas en un test posterior. Se utilizó un método de contraste de hipótesis no paramétrico (T de Wilcoxon para muestras pequeñas), al no conocer el modelo estadístico subyacente en los datos experimentales.

Tanto en el grupo de alumnos de ESO como de Bachillerato se constató un aumento estadísticamente significativo del número de respuestas correctas en el post-test con respecto al pre-test.

Si bien los datos experimentales recogidos confirmaban la hipótesis de la investigación, su diseño presentaba fuertes limitaciones.

En consecuencia, durante el curso académico 1999-2000 se lleva a cabo una investigación educativa¹¹ en la misma línea del trabajo anterior pero intentando corregir sus deficiencias. Esta investigación es financiada por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía con un importe de 300.000 pts., según resolución de la convocatoria de Ayudas a la Investigación Educativa de 1999 (BOJA núm. 122 de 21-10-99).

Un nuevo programa informático es desarrollado a partir de Dinamic, con objeto de ser validado en esta investigación, mejorando sus características técnicas y su potencial didáctico. El nuevo simulador se ejecuta en el sistema operativo Windows 95 y versiones superiores, representa en tiempo real las gráficas espacio-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo, visualiza las magnitudes vectoriales, registra en un fichero de texto el diseño experimental del alumno, etc.

La muestra de alumnos estaba constituida por un grupo de 1.º de Bachillerato de Ciencias con quince estudiantes del IES Abdera de Adra (Almería), que debían resolver una serie de problemas abiertos sobre mecánica newtoniana a modo de pequeños trabajos de investigación

⁹ CD-ROM “Programas informáticos y Páginas web educativas, 2.º Concurso” (2000), Junta de Andalucía, Consejería de Educación y Ciencia, Dirección General de Evaluación Educativa y Formación del Profesorado. http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/programas/dinamic.php3.

¹⁰ Electronics Workbench 4.0 (1995), Interactive Image Technologies Ltd.

¹¹ Sierra, J. L. y Perales, F. J. (2003), “The effect of instruction with computer simulation as a research tool on open-ended problem solving in a Spanish physics classroom of 16-year-olds”, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 22 (2), 119-140.

con ayuda del simulador. Previamente, los estudiantes se familiarizaron con el uso del programa didáctico.

Los instrumentos de medida fueron unos pre-tests y post-tests sobre conceptos de Mecánica newtoniana, actitudes científicas, creencias acerca de la ciencia y conocimientos de informática, así como las observaciones de aula, los registros informáticos de la interacción de cada alumno con el programa y los informes escritos de las investigaciones llevadas a cabo por cada alumno.

La investigación en el aula se desarrolló según un diseño experimental de Solomon de cuatro grupos, en el que unos alumnos investigaban con el simulador mientras otros lo hacían con material impreso (libro de texto y apuntes de clase).

Todos los instrumentos de medida fueron analizados cualitativamente. Sólo los tests conceptuales y actitudinales fueron sometidos al método de contraste de hipótesis de Mann-Whitney.

La puntuación del post-test fue superior a la del pre-test cuando los estudiantes usaban el simulador, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa.

Esta investigación fue galardonada con el premio a la innovación e investigación didáctica por la fundación Centros Familiares de Enseñanza en la convocatoria de 2001.

Ante las dificultades detectadas en los estudiantes al aplicar la metodología científica en la resolución de problemas, se decide dedicar el curso académico 2000-01 a familiarizar y entrenar a los alumnos de 1.º de Bachillerato de Ciencias en estrategias de razonamiento hipotético-deductivo.

Para ello, el profesor plantea inicialmente problemas cotidianos que deben ser resueltos como investigaciones científicas por grupos de alumnos, cuyas conclusiones son expuestas al resto de la clase. En una fase posterior, el profesor plantea problemas científicos relacionados con el entorno socioeconómico de los estudiantes. Por último, los problemas que se abordan son específicos de Mecánica newtoniana de 1.º de Bachillerato.

Durante el curso 2001-02 la investigación educativa se lleva a cabo con dos grupos de estudiantes del IES Abdera que realizan las actividades de investigación con micromundos desarrollados por el profesor en Interactive Physics¹²:

- Ocho alumnos de la asignatura de Técnicas de Laboratorio de 2.º de Bachillerato, que habían sido entrenados en la metodología científica el curso anterior, salvo un estudiante que procedía de otro centro.
- Veinticinco alumnos de Física y Química de 1.º de Bachillerato.

Los instrumentos de medida utilizados durante este curso son los mismos del curso 1999-2000 más un cuestionario sobre razonamiento lógico.

Por último, en el curso 2002-03 la investigación desarrollada forma parte de un Proyecto de Innovación Educativa financiado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía con un importe de 2.632,68 €, según resolución de la convocatoria de Ayudas a Proyectos de Innovación Educativa 2002 (BOJA núm. 137 de 23-11-02).

Este período de la investigación se lleva a cabo con estudiantes de Física y Química de 1.º de Bachillerato:

¹² MSC.Working Knowledge. A division of MSC.Software Corporation, San Mateo, California.

- Dos grupos experimentales: 19 alumnos del IES Abdera de Adra y 25 alumnos del IES Fuentenueva de El Ejido.
- Un grupo de control: 18 alumnos del IES Fuentenueva de El Ejido.

Los estudiantes realizan las actividades de investigación con el programa Mobile, una versión evolucionada del programa Dinamic, que pretende corregir las limitaciones didácticas de Interactive Physics.

Los instrumentos de medida utilizados son los mismos del curso anterior más un test sobre contenidos procedimentales.

Asimismo, los programas Mobile e Interactive Physics han sido evaluados por 11 profesores de Física y Química que han asistido durante los meses de enero y febrero de 2003 a un curso¹³ de formación permanente impartido por el autor de esta tesis.

2. OBJETIVOS GENERALES DE LA TESIS

La experiencia adquirida en los años precedentes, así como los fundamentos teóricos de este trabajo, nos han llevado a explicitar los siguientes objetivos de investigación:

- Diseñar, desarrollar y evaluar un programa informático de simulación para la enseñanza de contenidos de Mecánica newtoniana correspondientes a un nivel educativo de Bachillerato.
- Elaborar y validar una estrategia didáctica basada en la resolución de problemas como investigación guiada por el profesor, para que los alumnos de Bachillerato utilicen adecuadamente el programa de simulación en el aprendizaje de la Mecánica.
- Conocer las estrategias utilizadas por los estudiantes al resolver problemas como pequeñas investigaciones, gracias al registro informático de su actividad con el simulador.
- Comprobar que una metodología didáctica basada en la resolución de problemas por parte de los alumnos como investigaciones científicas llevadas a cabo con un programa de simulación y dirigidas por el profesor, permite el aprendizaje de contenidos procedimentales y actitudinales invariables mediante una metodología tradicional.
- Comprobar que la realización por parte de los alumnos de pequeños trabajos de investigación con un programa de simulación promueve el aprendizaje cooperativo.
- Aportar una nueva técnica de evaluación del aprendizaje de los contenidos científicos.

3. PRESENTACIÓN DE LOS CAPÍTULOS

El **capítulo 1** establece los fundamentos de la investigación referidos a la Didáctica de las Ciencias Experimentales, la Psicología del aprendizaje y la Informática Educativa.

Para ello se revisan y analizan brevemente las diversas teorías sobre el aprendizaje propuestas desde la Psicología de la Educación, así como su transposición al aula de Ciencias

¹³ Curso de Formación Permanente del Profesorado: *El ordenador como herramienta cognitiva en la enseñanza de las ciencias experimentales. Simulación por ordenador de fenómenos físicos*. 20 de enero al 18 de febrero de 2003. Centro de Profesorado de El Ejido. Almería.

mediante los correspondientes modelos didácticos. Estos enfoques de la enseñanza de las ciencias son analizados a partir de indicadores tales como la base epistemológica, la concepción del aprendizaje, los criterios de selección de contenidos, las actividades de enseñanza y evaluación, y las dificultades surgidas de su aplicación en el aula.

A continuación se destaca la importancia de las ideas previas de los estudiantes en su aprendizaje de las ciencias, exponiendo su origen, sus características, las técnicas usuales para su detección y algunas propuestas didácticas para su reestructuración, así como los esquemas alternativos más frecuentes en el área de la Mecánica newtoniana.

Los principales contenidos científicos de carácter procedimental y actitudinal son revisados, ya que el aprendizaje más eficaz de éstos es uno de los objetivos de esta investigación.

Asimismo, la tesis asume la resolución de problemas científicos mediante investigación guiada por el profesor, como el eje central de la actividad desarrollada por los alumnos. En consecuencia, la propuesta didáctica de Gil y colaboradores sobre el tratamiento en el aula de la resolución de problemas es analizada.

El capítulo 1 acaba haciendo referencia a cuestiones generales de Informática Educativa, partiendo de una evolución histórica desde las primeras aplicaciones educativas del ordenador hasta los proyectos más recientes, para continuar con una caracterización del *software* educativo y de su proceso de diseño, desarrollo y evaluación, junto con un análisis de la situación de aprendizaje con ordenador en el aula.

El potencial educativo de la simulación de fenómenos físicos por ordenador es analizado, así como algunas investigaciones realizadas hasta la fecha sobre su aplicación para la enseñanza de la Física en educación secundaria.

El planteamiento general de la investigación se lleva a cabo en el **capítulo 2**. En primer lugar, tanto los contenidos conceptuales de Mecánica newtoniana como los procedimientos y actitudes científicas, objeto de enseñanza en esta investigación, son contextualizados dentro del currículo oficial de Bachillerato.

Los diversos aspectos de la investigación son caracterizados y diferenciados en función del análisis cualitativo o cuantitativo al que serán sometidos.

Por consiguiente, en este capítulo se establecen las hipótesis y los objetivos de la investigación, así como las variables diagnosticadas, los instrumentos y los diseños experimentales necesarios para su contrastación.

Se indica igualmente en el capítulo la muestra de alumnos y los programas informáticos utilizados en el aula a lo largo de las distintas fases de la investigación.

El capítulo finaliza describiendo los diversos tipos de análisis efectuados sobre los datos experimentales.

El **capítulo 3** describe el proceso de diseño, desarrollo y validación de los programas didácticos utilizados por los estudiantes. Asimismo, se describen las características de los micromundos informáticos creados por el autor de la tesis con un programa comercial de simulación.

El **capítulo 4** describe el proceso de validación de los instrumentos de medida elaborados en esta investigación (test sobre conceptos de Mecánica newtoniana y lista de control para evaluar el *software* educativo) y las actividades de investigación a realizar por los alumnos con los simuladores didácticos.

La situación de los estudiantes previa a la experimentación con los simuladores se infiere del análisis de los pre-tests en el **capítulo 5**.

El **capítulo 6** describe la fase experimental de la investigación, indicando la metodología y los diseños experimentales aplicados, así como la muestra estudiada en los distintos períodos.

El análisis de los resultados post-instruccionales y su comparación con la situación pre-instrucciona se lleva a cabo en el **capítulo 7**. Para ello se analizan los distintos post-tests, los informes de investigación generados por los estudiantes, los registros informáticos de la actividad desarrollada, la transcripción de las grabaciones de audio y las observaciones de aula del profesor.

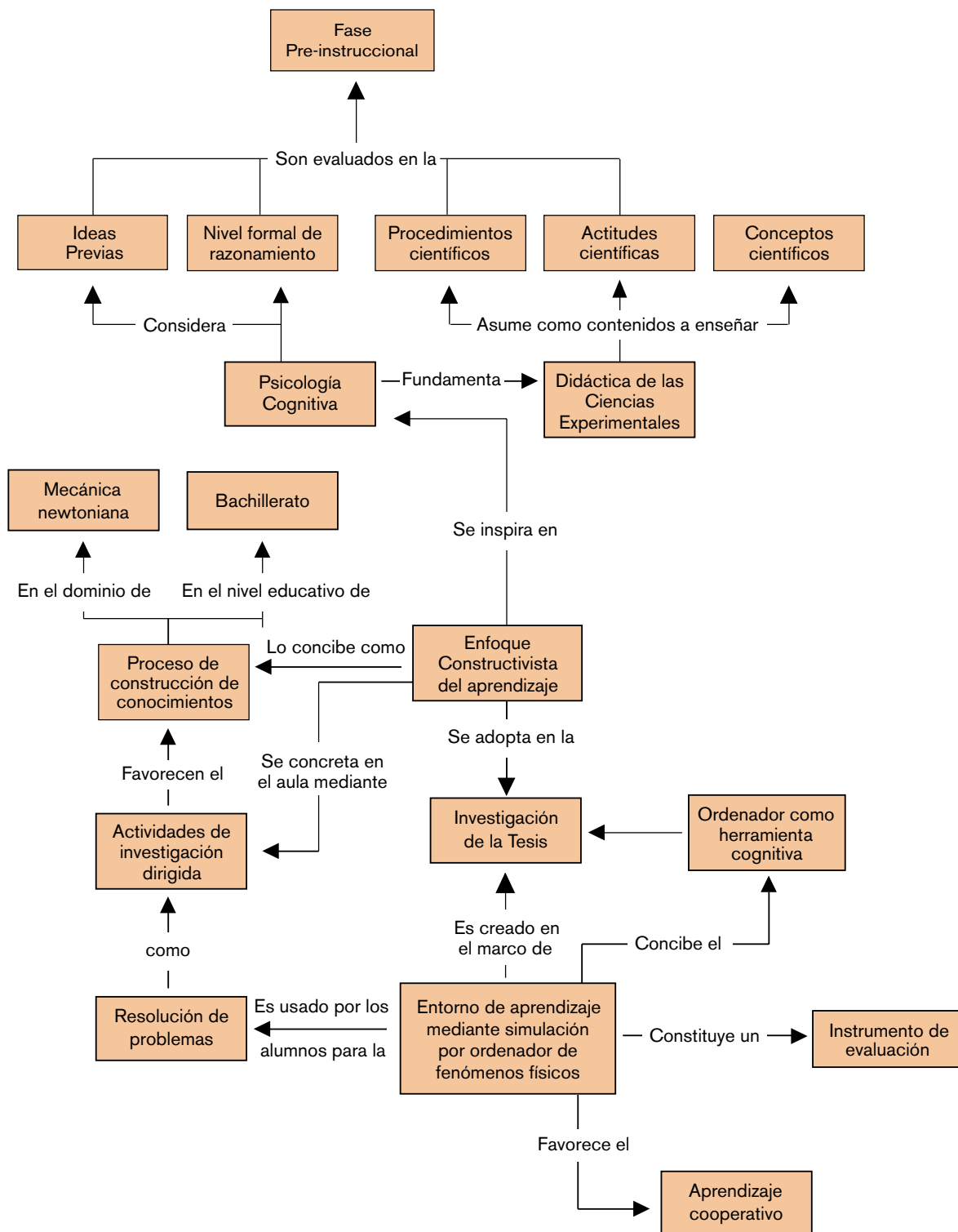
El análisis cuantitativo se efectúa con la ayuda del programa de tratamiento estadístico SPSS¹⁴.

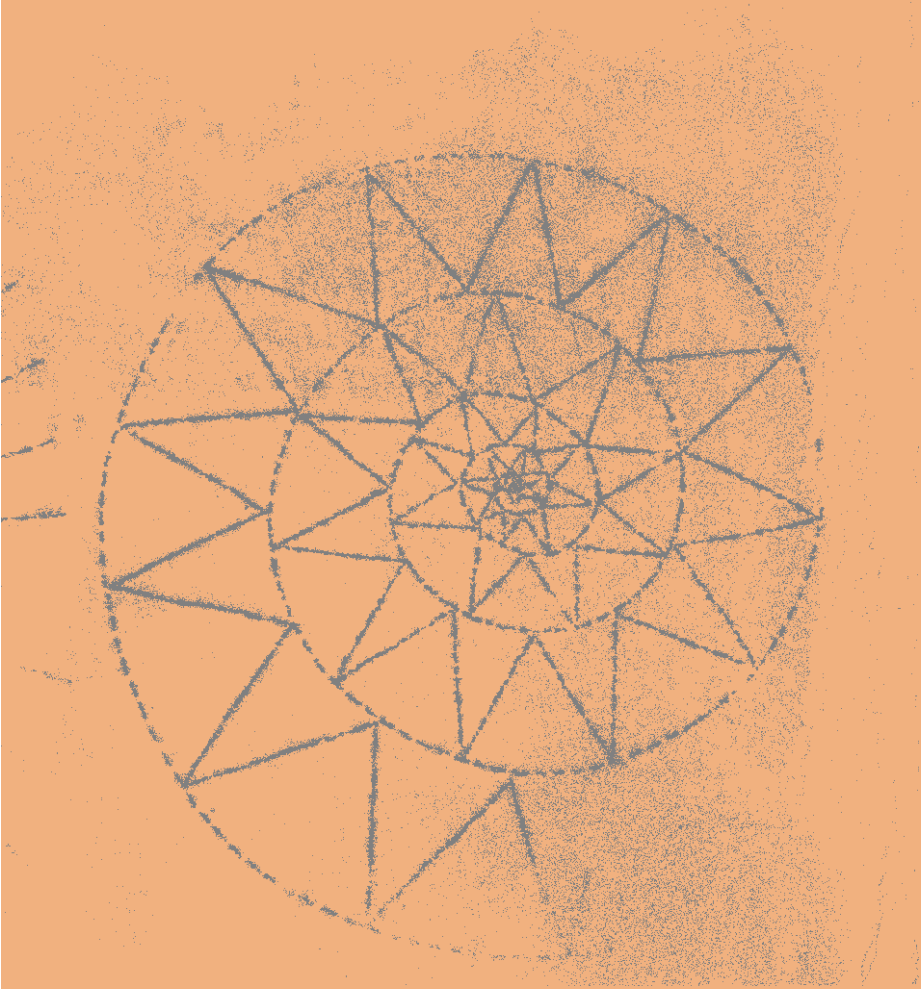
Por último, el **capítulo 8** recoge las conclusiones derivadas de la investigación y sus implicaciones didácticas para la enseñanza de la Física en Bachillerato. Además, se perfilan algunas líneas de investigación futura.

La figura 1 muestra el organigrama general del contenido de la tesis.

¹⁴ SPSS 11.0.1 para Windows de SPSS Inc. (1989-2001), Chicago.

FIGURA 1. MAPA CONCEPTUAL DESCRIPTIVO DEL CONTENIDO DE LA TESIS.





Fundamentos de la investigación

Capítulo 1