

**UN DESARROLLO CURRICULAR
DE LA FÍSICA
CENTRADO EN LA ENERGÍA**

(Convocatoria de ayudas a la investigación
educativa, BOE del 8 de mayo de 1992)

INVESTIGACIÓN PRESENTADA POR:

M^a Paloma VARELA NIETO (Directora)

M^a Jesús MANRIQUE DEL CAMPO (Investigadora)

M^a Carmen PÉREZ DE LANDAZÁBAL EXPÓSITO (Investigadora)

Ana FAVIERES MARTÍNEZ (Colaboradora)

MADRID, Noviembre 1995

ÍNDICE

PRESENTACIÓN DEL TRABAJO	5
---------------------------------------	---

NUESTRA PROPUESTA Y EL NUEVO CURRÍCULO DE FÍSICA PARA LA ENSEÑANZA SECUNDARIA	11
--------------------------------------------------------------------------------------------	----

PRIMERA PARTE: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

1.1. Los esquemas conceptuales alternativos de los estudiantes en el campo de las ciencias	14
1.2. Planteamiento del proceso de enseñanza	17
1.2.1. Visión constructivista del aprendizaje	18
1.2.2. Metodología de trabajo en el aula	19
1.2.3. Cambio conceptual	21
1.2.4. Aprendizaje significativo.	25
1.2.5. Modelo de evaluación	27

Capítulo 2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Planteamiento general	32
2.2. Fases del trabajo y temporalización	35
2.3. Naturaleza y entorno de las muestras	38
2.4. Implicaciones curriculares	40
2.5. Técnicas de análisis de datos	41

SEGUNDA PARTE: RESEÑA DE LA INVESTIGACIÓN ACERCA DE LA PRIMERA PARTE DEL CURRÍCULO (Realizada en los cursos 1990-1992)

Capítulo 3. La ENERGÍA: NÚCLEO DEL DISEÑO CURRICULAR EN FÍSICA

3.1. Justificación teórica	47
3.2. ¿Cómo construyen los estudiantes el concepto de energía?	51
3.3. Diseño de materiales didácticos	57
3.4. Evaluación del proceso de aprendizaje	66

Capítulo 4. LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y LA ENERGÍA TÉRMICA

4.1. Energía eléctrica	
4.1.1. Justificación teórica	70
4.1.2. Diseño de los materiales didácticos	71
4.1.3. Evaluación del cambio conceptual	74
4.2. Energía térmica	
4.2.1. Justificación teórica	75
4.2.2. Diseño de los materiales didácticos	76
4.2.3. Evaluación del cambio conceptual	79

TERCERA PARTE: LA ENERGÍA MECÁNICA

Capítulo 5. ESQUEMAS CONCEPTUALES EN EL CAMPO DE LA ENERGÍA MECÁNICA

5.1. Esquemas alternativos más relevantes en este campo. Estudio teórico	82
5.1.1. Energía mecánica	83
5.1.2. Fuerza, trabajo y energía	85
5.1.3. Fuerza como interacción	87
5.1.4. Caída de graves	89

5.1.5. Fuerza y movimiento	91
5.1.6. Posición y velocidad	97
5.2. Exploración de los esquemas alternativos en nuestra investigación	99
5.2.1. La fuerza como medida de la interacción entre dos sistemas. Principio de acción y reacción	100
5.2.2. Confusión fuerza y energía.....	102
5.2.3. Fuerza y movimiento en trayectorias rectilíneas	104
5.2.4. Posición y velocidad	106

Capítulo 6. MATERIALES DIDÁCTICOS PARA EL ESTUDIO DE LA ENERGÍA MECÁNICA

6.1. Justificación teórica.....	107
6.2. Descripción de los materiales didácticos de los cursos 1993-94 y 1994-95.....	110

CUARTA PARTE; RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Capítulo 7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

7.1. Descripción y justificación de los instrumentos: modelos de pruebas, problemas utilizados, encuesta de actitudes, pruebas psicológicas	139
7.2. Evaluación del cambio conceptual en el estudio piloto 1993 - 1994	148
7.3. Evaluación del cambio conceptual en el grupo experimental. 1994 - 1995	151
7.4. Persistencia del cambio conceptual en el grupo experimental	156

7.5. Evaluación del aprendizaje a partir de los problemas. Comparación con el grupo control	158
7.6. Relación entre la capacidad de resolver problemas y el nivel conceptual de los alumnos	163
7.7. Evaluación de las actitudes	165
7.8. Interacción de las diferencias individuales en el proceso de aprendizaje	167
Capítulo 8. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS	170
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
ANEXO I: MUESTRA DE ENTREVISTAS	191
ANEXO II: MUESTRA DE CUADERNOS DE ALUMNO	211

PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

Introducción

La investigación que ahora presentamos forma parte de un trabajo más amplio que se ha planteado como una contribución a la mejora de la enseñanza y, como consecuencia, del aprendizaje, de la Física y la Química mediante el diseño de materiales didácticos en la línea del nuevo currículo propuesto por el Ministerio de Educación y Ciencia para la nueva Enseñanza Secundaria. La investigación ha estado basada fundamentalmente en cuatro puntos:

1. La utilización de la Energía como idea globalizadora para el desarrollo de una iniciación a la Física.
2. El análisis previo de las representaciones conceptuales con que nuestros alumnos llegan a las aulas.
3. La introducción en las clases de una metodología que propugne el cambio conceptual
4. El propósito de mejorar la actitud y el interés del alumno hacia la Ciencia, tan deteriorados en este nivel educativo.

Nuestro equipo de trabajo ha realizado ya una parte de los materiales didácticos a que hemos aludido, con la evaluación de la viabilidad y eficacia en el aula de los relativos a **Introducción a la Energía, Energía eléctrica y Energía térmica** (Varela y otros, 1993; Pérez de Landazábal y otros, 1995). En esta línea, la investigación que ahora presentamos ha tenido como finalidad el diseño de los materiales correspondientes al estudio de la Energía Mecánica y su posterior experimentación en un contexto escolar normalizado, utilizando una metodología de aula inspirada en la teoría constructivista del aprendizaje. Se ha investigado hasta que punto este proceso va a producir en los estudiantes un cambio conceptual, persistente en el tiempo, acompañado de una actitud positiva hacia el aprendizaje de la Ciencia. Además, queríamos estudiar la eficacia de los

estudiantes sujetos de la investigación como resolventes de problemas estándar en comparación con la alcanzada por alumnos que habían recibido una enseñanza "tradicional".

Por otra parte, estábamos interesados en analizar, desde una perspectiva cognitiva, la interacción de las diferencias individuales sobre la respuesta de los sujetos al proceso de enseñanza-aprendizaje que iban a realizar.

A lo largo de esta presentación vamos a destacar los puntos que consideramos fundamentales acompañados de un resumen de cada uno de los capítulos en que se ha estructurado esta memoria.

Consideraciones generales: un problema a resolver

A lo largo de más de veinticinco años que hemos trabajado como profesoras de Ciencias y más en concreto como profesoras de Física, hemos venido detectando que los alumnos de esta asignatura tienen enormes dificultades en el aprendizaje de la misma, tanto en sus aspectos conceptuales como en lo que caracteriza a la Ciencia desde un punto de vista metodológico: la resolución de problemas.

La detección de estas dificultades y tratar de buscar caminos para resolverlas en el marco de la investigación educativa, nos ha llevado a participar, a lo largo de los últimos diez años, en distintos proyectos de innovación e investigación educativa, encaminados siempre a tratar de solucionar el problema señalado: la dificultad que presenta para los estudiantes el proceso de aprendizaje en una materia como la Física. Esta disciplina tiene para los alumnos de Enseñanza Secundaria una dificultad intrínseca debido al nivel de abstracción en que se mueve, al grado de sistematización de que está dotada y al lenguaje altamente formalizado en que se expresa.

En el momento actual, la problemática que hemos planteado hay que considerarla enmarcada en dos referentes, uno ligado al contexto de la investigación educativa y otro, que tome en cuenta la situación educativa de nuestro país. El primer punto lo trataremos con detalle en el siguiente apartado y, en cuanto al segundo, hay que decir que nos

encontramos en un momento de implantación de la nueva ley de educación, LOGSE, que está introduciendo cambios importantes en nuestro quehacer educativo.

El ámbito de la investigación

En la actualidad, la problemática de la investigación educativa sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias, ha llevado a realizar un gran esfuerzo para integrar por una parte, perspectivas procedentes de lo que podemos llamar genéricamente Psicología de la Educación y, por otra, aportaciones desde el campo de la Didáctica de las Ciencias, superando las divergencias y desencuentros que tradicionalmente han existido entre ambas orientaciones. Es un hecho admitido que ambos enfoques, aunque se interesen por aspectos distintos, acaban por tropezar con los mismos *obstáculos epistemológicos* (Gil, 1993; Pozo, 1993).

La investigación en Didáctica de las Ciencias, asumiendo su conexión con la Psicología, se ha centrado fundamentalmente en los puntos siguientes:

- ° Aprendizaje de conceptos
- ° Diferencias individuales frente a la instrucción
- ° Resolución de problemas

En nuestra opinión, estos aspectos pueden y deben considerarse complementarios a la hora de profundizar en como los estudiantes modifican sus conocimientos y procesos de pensamiento y, consecuentemente, estudiar sus implicaciones en el diseño de la instrucción. En coherencia con esta idea, la investigación que ahora presentamos puede considerarse una aportación integradora de los tres puntos mencionados ya que, a través del trabajo con unos materiales didácticos diseñados especialmente para el aprendizaje de la Energía Mecánica, hemos estudiado la evolución conceptual de los alumnos, su capacidad para resolver problemas y la posible interacción que puedan tener las diferencias individuales, entendidas desde una perspectiva cognitiva.

De acuerdo con los presupuestos que hemos comentado en los apartados anteriores, aparece a continuación un resumen de cada una de las partes en que se ha estructurado la memoria.

PRIMERA PARTE : MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

En el Capítulo 1 - **Fundamentación teórica del proceso de enseñanza-aprendizaje** - se profundiza en la perspectiva constructivista donde a las concepciones de los alumnos se les asigna un mayor estatus epistemológico considerándolas más que un obstáculo, un instrumento útil en el proceso de aprendizaje. En este marco, aprender Ciencia, es reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos, ampliándolas o modificándolas según los casos.

A partir de las premisas anteriores, se plantea toda la problemática del cambio conceptual, como el proceso por el cual se va a conseguir que los estudiantes evolucionen hacia ideas más próximas a las defendidas actualmente por la Ciencia.

En el Capítulo 2 - **Diseño de la investigación** - se expone un planteamiento general de lo que se pretende con la investigación realizada. Dada la importancia de este capítulo, vamos a destacar sus aspectos más relevantes:

- La investigación corresponde a un diseño *cuasi-experimental*, decantándonos por una *validez ecológica*, que se interesa fundamentalmente por la generalización de los efectos experimentales a otras situaciones. En cuanto al tema de las muestras, se ha primado el aspecto de la *representatividad* sobre el problema del tamaño.
- En relación a la metodología utilizada en la investigación, ha estado orientada por el paradigma *investigación-acción* donde el profesor juega el doble rol profesor/investigador.

- El trabajo realizado dentro del aula, en cuanto a los aspectos curriculares, se ha desarrollado a partir de los contenidos de Física correspondientes al curso segundo de BUP, coincidentes mayoritariamente con la actual propuesta oficial para la nueva Enseñanza Secundaria, tal como comentaremos en el apartado siguiente.
- En cuanto a las técnicas de análisis utilizadas, hemos tomado la decisión de emplear tanto métodos cualitativos como cuantitativos - de acuerdo con las necesidades planteadas - asumiendo que ambos pueden considerarse compatibles y complementarios.

SEGUNDA PARTE : RESEÑA DE LA INVESTIGACIÓN ACERCA DE LA PRIMERA PARTE DEL CURRÍCULO (Realizada en los cursos 1989-1992)

A lo largo de los Capítulos 3 y 4 - **La energía. Núcleo del diseño curricular en Física; La Energía Eléctrica y La Energía Térmica** - se hace una descripción de la justificación teórica, los materiales didácticos y la evaluación del proceso para estas partes del currículo. Este estudio ha sido objeto de investigaciones realizadas con anterioridad, a pesar de lo cual en el primero de los capítulos se hace una presentación detallada de la **Introducción a la energía**, pues allí aparecen las claves de todo nuestro diseño curricular, mientras que de las otras dos partes aparece únicamente una síntesis para poder enmarcar el tema de la **Energía Mecánica**.

TERCERA PARTE : LA ENERGÍA MECÁNICA

En el Capítulo 5 - **Esquemas conceptuales en el campo de la Mecánica** - describimos un conjunto de esquemas alternativos sobre los conceptos que se consideran fundamentales, tanto desde un punto de vista epistemológico, como por su importancia en los currículos escolares. De todos estos esquemas, en la primera parte se presentan las investigaciones realizadas en nuestro entorno, destacando las pruebas que se han empleado para la detección de ideas y los resultados obtenidos con alumnos de características similares a los empleados en nuestra investigación. En la segunda parte del capítulo describimos, en concreto, las pruebas que se han utilizado en este trabajo.

En el Capítulo 6 - **Materiales didácticos para el estudio de la Energía Mecánica** - a partir de un esquema explicativo, se hace una descripción exhaustiva del conjunto de actividades con que se quiere abordar el estudio de esta parte del currículo, especificando el diseño inicial y las modificaciones introducidas como consecuencia del estudio piloto realizado durante el curso 1992-93, presentando numerosos ejemplos del diseño definitivo con que se realizó la experimentación en el curso 1993-94.

CUARTA PARTE : RESULTADOS. Y CONCLUSIONES

En el Capítulo 7 - **Resultados de la investigación** - se aborda la evaluación de todo el proceso, planteada como una reflexión crítica sobre todos los momentos y factores que intervienen en el mismo. En este sentido nos hemos decantado por una evaluación formativa que incluye el análisis y discusión de todos los resultados que van a incluir el estudio piloto, todo lo relativo al grupo experimental y la comparación con el grupo control.

En el Capítulo 8 - **Conclusiones e implicaciones didácticas** - se presenta una síntesis de los resultados obtenidos, sus posibles implicaciones didácticas en el contexto escolar y algunos problemas que quedan abiertos a nuevas investigaciones.

NUESTRA PROPUESTA Y EL NUEVO CURRÍCULO DE FÍSICA

En el período de tiempo en el que hemos estado desarrollando este proyecto, han aparecido publicados documentos oficiales - en el marco del desarrollo de la LOGSE - referentes a los currículos que tienen que impartirse en nuestros centros escolares.

Si nos detenemos en la Enseñanza Secundaria Obligatoria, el Real Decreto 1007/91 del 14 de junio establece las enseñanzas mínimas que dentro del área de Ciencias de la Naturaleza, el Ministerio de Educación ha considerado prescriptivas. En este decreto se señala que "*Los contenidos se organizan en este área alrededor de algunos conceptos fundamentales tales como energía, materia, interacción y cambio*". Nosotros, para el desarrollo de la Física, hemos utilizado el concepto de energía como eje para abordar los distintos campos de la misma.

Si comparamos los contenidos conceptuales correspondientes al bloque de LA ENERGÍA podemos observar una clara coincidencia. Hay sin embargo una diferencia importante: nosotros, en contraposición con la propuesta publicada, somos partidarios de abordar, desde el inicio de este bloque el Principio de Conservación de la Energía, comenzando por un planteamiento general mediante la construcción de diagramas para los diferentes tipos de transformaciones energéticas posibles. Este principio va a ser luego aplicado al estudio de la Energía eléctrica, la Energía térmica y la Energía mecánica, lo cual va a contribuir a dar una coherencia, desde un punto de vista científico a todos los materiales desarrollados. El abordar este principio desde el primer momento nos va a permitir introducir la idea de Degradación "*para comprender la existencia de crisis energéticas*" (Resolución del 5 de marzo de 1992 por la que se regula la elaboración de proyectos curriculares para la Enseñanza Secundaria Obligatoria).

En cuanto al bloque de ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO existe también amplia coincidencia en todos los tipos de contenidos, aunque para estudiantes de este nivel, y a pesar de las dificultades que hemos detectado en su aprendizaje nos parece

que hay que profundizar en el concepto de diferencia de potencial en un circuito eléctrico, concepto no mencionado específicamente, salvo en la evaluación, en la propuesta oficial.

En esta memoria se desarrollan los materiales didácticos relativos a ENERGÍA MECÁNICA, con unos contenidos similares a los propuestos para el nivel de 4º curso de la E.S.O. (Real Decreto 1390/95 de 19 de septiembre), donde se indica la conveniencia de tratar los conceptos de energía cinética, energía potencial, trabajo, peso, principios de la dinámica y estudio de los movimientos, en la línea conceptual utilizada en nuestro diseño.

Por lo que respecta a los contenidos procedimentales y actitudinales propuestos en el decreto citado, hay también clara coincidencia con nuestra aportación ya que los materiales diseñados implican un trabajo en el aula que fomenta la ejercitación de las destrezas científicas en los estudiantes .

En el Real Decreto 1178/1992 del 2 de octubre por el cual se establecen las enseñanzas mínimas del Bachillerato, dentro de la asignatura Física y Química del primer curso, aparecen tres bloques temáticos: 1) FUERZAS Y MOVIMIENTO, 2) LA ENERGÍA Y SU TRANSFERENCIA: TRABAJO Y CALOR y 3) ELECTRICIDAD. De nuevo, existe una orientación similar a la del presente trabajo, aunque con un nivel de profundización más elevado acorde con el nivel a que va dirigido.

Como conclusión, consideramos que los materiales diseñados encajan perfectamente en la Enseñanza Secundaria Obligatoria y proporcionan un buen punto de partida para su profundización posterior en el marco del futuro Bachillerato.

PRIMERA PARTE
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

1.1. LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES ALTERNATIVOS DE LOS ESTUDIANTES EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS

Los resultados de numerosas investigaciones realizadas en las últimas décadas acerca de cómo los estudiantes adquieren conocimientos ponen de manifiesto que, antes de iniciar un aprendizaje formal de la Ciencia, ya poseen unas ideas sobre las leyes que rigen el mundo que les rodea. En general estas ideas no concuerdan con el punto de vista científico.

Hay en la actualidad un gran interés por conocer cuáles son las ideas previas de los alumnos, ya que, según las teorías modernas del aprendizaje, sólo se logrará que éste sea significativo si se parte del conocimiento de estas representaciones para construir, modificándolas, nuevos esquemas conceptuales. Todo conocimiento se debe a una asimilación activa del sujeto que acomoda sus propios esquemas cognoscitivos a ese nuevo conocimiento. *"Si los nuevos conceptos contradicen a sus precursores subverbales o intuitivos, estos últimos pueden quedar entonces inalterados o subyacentes"* (Piaget, 1979). Así, como afirma Ausubel (1978), *"de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto y enséñese en consecuencia"*.

En esta misma línea Bachelard (1971) comenta:

A menudo me ha sorprendido el hecho de que los profesores de ciencias, más aún que los demás si cabe, no entienden que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que los adolescentes llegan a clase con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata pues, no de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana

Hay diferentes líneas de investigación en el estudio de las ideas previas de los alumnos (Driver et al., 1985; Osborne y Freyberg, 1985; Carrascosa, 1987; Andersson, 1986), pero en general todos los autores coinciden en los puntos siguientes:

- **Los esquemas conceptuales de los alumnos no son simples construcciones "ad-hoc" sino que son *construcciones personales* que han sido elaboradas por el sujeto al ir interiorizando las experiencias que vive con la finalidad de que le resulten coherentes. Estas construcciones van a influir en el modo en que se realicen e interioricen nuevas observaciones constituyendo teorías o ideas "en acción"**

- **Las ideas de los niños suelen estar dominadas por la percepción y en este sentido se fijan más en las propiedades observables de los objetos que en las interacciones entre ellos.**

- **Los estudiantes utilizan un razonamiento causal. Se fijan más en situaciones cambiantes que en estados de equilibrio. La idea de que el cambio es lo que requiere explicación está en la raíz del pensamiento causal que tiende a seguir una secuencia causal-lineal.**

- **Los estudiantes manejan un lenguaje impreciso y términos indiferenciados para expresar sus ideas. Este lenguaje está muy condicionado por la experiencia cotidiana.**

• **El razonamiento está ligado a un contexto específico. Situaciones que pueden ser "vistas" como similares desde un punto de vista científico pueden ser interpretadas por los niños utilizando nociones diferentes.**

Nosotros nos encontramos más cercanos a la escuela de Driver, en que se habla de los *esquemas conceptuales* como aquellas estructuras construidas por el niño como resultado de sus interacciones con el medio ambiente. Sus orígenes vendrán determinados por sus experiencias sensibles o por estímulos lingüísticos de diferente clase. La información se almacena en forma de ESQUEMAS, que pueden consistir en conocimientos individuales sobre un fenómeno específico o en estructuras de razonamiento más complejas. Estos esquemas influyen en el modo en que se adquiere nueva información y, a su vez, son influidos por ésta.

En resumen: **Los esquemas conceptuales son constructos de carácter provisional necesarios en el proceso de construcción de conocimientos que constituye el aprendizaje.**

Para terminar añadiremos que, como causas de la existencia en nuestros estudiantes de estos esquemas alternativos, podemos enumerar:

- Necesidad humana de encontrar una solución a las preguntas de un entorno.
- Lenguaje cotidiano.
- Influencia de la cultura popular.
- Escuela, a través de: libros de texto, profesor, compañeros, metodología inadecuada, currículo escolar (inadecuado y presentado en compartimentos estancos).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA

Hoy día se reconoce ampliamente que, en la mayor parte de los campos abordados por las Ciencias, la enseñanza habitual se ha mostrado bastante ineficaz a la hora de conseguir que las ideas intuitivas de los alumnos evolucionen hacia las admitidas actualmente por la comunidad científica (Engel y Driver, 1986). Esto pone de manifiesto la necesidad de diseñar nuevas estrategias que tengan como punto de partida los esquemas conceptuales del alumno y que sean capaces de potenciar en ellos el cambio conceptual (Posner, 1982). Para intentar cubrir esta necesidad varios grupos de investigación están tratando de diseñar estrategias de instrucción que resulten más eficaces en el sentido apuntado (Driver y Oldham 1986; Osborne y Wittrock, 1985; Pines y West, 1986).

Con esta orientación nuestro grupo de trabajo está elaborando materiales curriculares basados en el modelo representado por el esquema de la Figura 1.1.

Como se puede observar, se inicia con dos líneas paralelas, una de las cuales tiene en cuenta la situación de partida del alumno y la otra está basada en la estructura de la disciplina que se quiere enseñar (Física, Química...). Estas líneas se integran coherentemente en la visión constructivista de todo el proceso de enseñanza/aprendizaje.

A continuación vamos a desarrollar los títulos más relevantes que aparecen en el esquema.

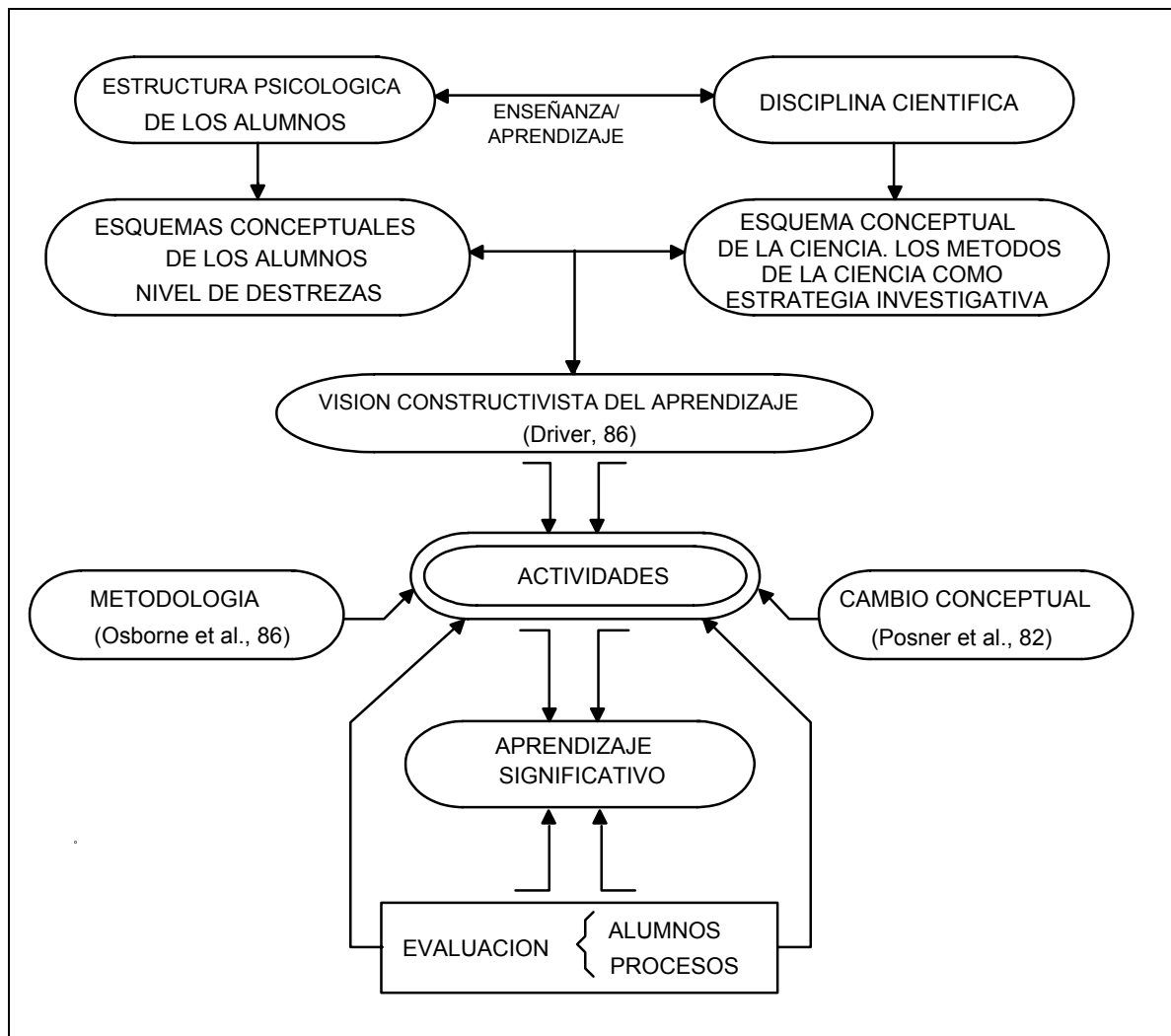


Figura 1.1. Modelo didáctico

1.2.1. Visión constructivista del aprendizaje

La existencia de los esquemas alternativos de los estudiantes constituye una de las piezas claves del nuevo paradigma. Driver, basándose en el concepto psicológico de los "constructos personales" de Kelly (Pope y Gilbert, 1983) ha desarrollado un "modelo constructivista del aprendizaje" del que habría que destacar las siguientes características (Driver, 1986):

- 1 - *Lo que hay en el cerebro del que va a aprender es importante.* Los resultados del aprendizaje no sólo dependen de la situación de aprendizaje y de las experiencias

que proporcionamos a nuestros estudiantes, sino también de los conocimientos previos de los mismos, de sus concepciones y motivaciones.

- 2 - *Encontrar sentido supone establecer relaciones.* Los conocimientos que pueden conservarse largo tiempo en la memoria no son hechos aislados, sino conceptos muy estructurados e interrelacionados de múltiples formas.
- 3 - *Quien aprende construye activamente significados.* Lo que determina nuestra actividad en cualquier situación, no es tanto lo que extraemos de ella, sino las construcciones que aportamos a la misma. La construcción de significados, ya sea a partir de un texto, de un diálogo o de una experiencia física, implica un proceso activo de formulación de hipótesis o realización de ensayos, que son contrastados mediante experiencias sensoriales.
- 4 - *Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje* en el sentido de que han de dirigir su atención hacia la tarea de aprendizaje y hacer uso de sus propios conocimientos para construir ellos mismos el significado de la misma, incluso cuando tienen una actitud exteriormente pasiva.

Este conjunto de características va a gravitar en la orientación pedagógica del proceso de instrucción, teniendo como consecuencia una metodología de trabajo en el aula que, mediante un proceso de cambio conceptual, conduzca a un aprendizaje significativo (Ausubel, 1978) de los conceptos que se presentan.

1.2.2 Metodología del trabajo en el aula

De acuerdo con la perspectiva anteriormente expuesta, la metodología que tendremos que utilizar en el aula tiene que estar encaminada a:

- Conseguir que los alumnos pongan en cuestión sus ideas.
- Contrasten estas ideas con sus compañeros.
- Emitan hipótesis acerca del comportamiento de determinados sistemas.

- Contrasten sus hipótesis con los resultados aportados por la experimentación y/o el profesor.
- Apliquen las nuevas ideas a otras situaciones.

Parece lógico, en vista de todo lo anterior, que el profesor deje de ser un mero transmisor de conocimientos ya elaborados para asumir otros roles coherentes con el nuevo enfoque metodológico. Entre estos cabe destacar (Seminario Axarquía, 1989):

- El profesor como motivador: debe hacer explícito a los alumnos qué se pretende con el tema o la actividad a realizar, debe alentar a los estudiantes a que se hagan preguntas a sí mismos y a los demás, buscando siempre el por qué de las cosas y debe animarlos para que asuman la responsabilidad de su propio aprendizaje.
- El profesor como guía: los alumnos necesitan orientación para vincular adecuadamente sus experiencias y sus ideas con el nuevo concepto que se está estudiando y para generar vínculos que hagan significativa la nueva información para el aprendizaje. Esta guía, necesaria para que los alumnos aprendan, requiere un profesor muy activo, que interaccione continuamente con los individuos y los grupos, ofreciendo una y otra vez argumentos a favor y en contra de una idea o concepto.
- El profesor como innovador - investigador. Posiblemente ésta sea la más desafiante de las nuevas tareas del profesor, para la cual es imprescindible estar en contacto con otros profesores y conocer los hallazgos y resultados obtenidos dentro del campo en que esté trabajando.

1.2.3. Cambio conceptual

Dentro del planteamiento que estamos describiendo, un paso fundamental es, tomando en cuenta los esquemas previos de los estudiantes, diseñar formas de cambiarlos o de hacerlos evolucionar hacia los aceptados hoy día por la comunidad científica. Este proceso de cambio en la organización del conocimiento o reestructuración presenta interés en la enseñanza de la Física donde, según muestra la

abundante bibliografía, existe un número importante de esquemas alternativos en los estudiantes. Es preciso, sin embargo, dejar claro que los cambios en la estructura conceptual no se producen con facilidad y por lo tanto se han desarrollado diferentes teorías acerca de como puede ocurrir este proceso. Vamos a destacar una de las teorías de **cambio conceptual** que, en nuestra opinión, ha tenido más incidencia en el campo de la enseñanza de las ciencias. Es la desarrollada por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) cuya fundamentación procede del campo de la Filosofía de la Ciencia y cuya idea del aprendizaje es considerar éste como una actividad racional, es decir, para estos autores **aprender es fundamentalmente llegar a comprender y aceptar las ideas, al ser éstas inteligibles y racionales. Por lo tanto aprender es, de algún modo, investigar.**

En opinión del grupo de Posner, los puntos de vista contemporáneos de la Filosofía de la Ciencia sugieren que existen dos fases diferenciadas en el proceso de **cambio conceptual** en Ciencias. El trabajo científico está basado en unos compromisos centrales que organizan la investigación; en una primera fase estos compromisos son los que definen problemas, indican las estrategias a utilizar y especifican los criterios para presentar aquello que se ofrece como solución. Thomas Kuhn (1962) denomina a los citados compromisos **paradigmas** y a la investigación dominada por paradigmas **ciencia normal** mientras que I. Lakatos (1978) los califica como su **esencia teórica pura** sugiriendo que dichos compromisos generan **programas de investigación** diseñados para aplicarlos.

La segunda fase del cambio conceptual sucede cuando estos compromisos centrales necesitan alguna modificación. En este caso el científico se enfrenta con un reto a sus supuestos básicos teniendo que adquirir nuevos conceptos y una forma diferente de ver el mundo. Kuhn califica este tipo de cambio conceptual como **revolución científica** y para Lakatos constituye un cambio en los programas de investigación. En este sentido la aparición de una nueva teoría no puede comprenderse en el vacío, sino en función de su relación con la teoría anteriormente vigente. Según I. Lakatos (1978) una teoría será mejor que otra cuando:

- a) Tenga un contenido empírico en exceso respecto de la teoría anterior, es decir, sea capaz de predecir nuevos hechos que la anterior teoría no producía.
- b) Explique con éxito todo lo que la anterior teoría ya explicaba y
- c) Logre corroborar empíricamente una parte del contenido empírico que ha sido capaz de producir.

La hipótesis de partida de Posner et al. admite la existencia de pautas análogas a todo lo explicado cuando se considera el cambio conceptual producido en los procesos de aprendizaje. A veces los estudiantes utilizan conceptos que ya poseen para explicar nuevos fenómenos; esta variante de la primera fase del cambio la denominan **asimilación**. Sin embargo, en otras ocasiones los conceptos preexistentes son inadecuados y deben, por tanto, reemplazar o reorganizar sus conceptos centrales. Esta forma más radical de cambio conceptual recibe el nombre de **acomodación**. (Los autores hacen la salvedad de que, aunque estos términos coinciden con los utilizados por J. Piaget, su uso no representa un compromiso con sus teorías).

Centrándose en los procesos de acomodación, los autores se plantean en primer lugar cuales son las condiciones necesarias para que se produzca este tipo de cambio conceptual que consideran el más radical. Sintetizando estas condiciones son (Posner et al. 1982):

1. El alumno ha de verse insatisfecho con las ideas previas, es decir, que sea consciente de que no le son útiles y por tanto es necesario cambiarlas por nuevas ideas.
2. La nueva concepción ha de ser inteligible, lo que supone conocer y comprender los términos, símbolos y modos de expresión. Además, la información debe estar estructurada de forma coherente.

3. La nueva idea ha de ser inicialmente verosímil o plausible. Entender una idea no es condición suficiente para aceptarla e incorporarla al esquema conceptual, además tiene que ser consistente con las ideas anteriores, no estar en contradicción con ellas ni con la experiencia del alumno. Este requisito es muy difícil de cumplir cuando la nueva idea parece ser contraintuitiva, situación que se da frecuentemente en la enseñanza de la Física.
4. La concepción nueva ha de ser potencialmente fructífera, es decir, que sirva para resolver los problemas, ampliar su campo de conocimiento, sugiriéndole preguntas acerca de lo que observa, abriendo nuevas posibilidades de investigación para verificar sus respuestas.

El siguiente punto de reflexión afecta al contexto en que se produce el cambio. Usualmente cuando se producen cambios de conceptos centrales no se reemplazan todos a la vez. Las personas retienen muchos de sus concepciones, algunas de las cuales van a funcionar como guía del proceso de acomodación, es lo que se conoce como ecología conceptual del sujeto (término acuñado por Toulmin, 1972). Esta ecología proporciona el contexto en que se produce el cambio influyendo en él y confiriéndole significado.

Terminan los autores su propuesta presentando una serie de implicaciones educativas consecuencia de la teoría desarrollada. En nuestra opinión las más interesantes serían:

- 1) La acomodación para los estudiantes es un asunto gradual realizado poco a poco. No parece que los estudiantes se encuentren en disposición de captar, desde el primer momento, cualquier teoría en su totalidad con sus implicaciones respecto al mundo. La acomodación es, sobre todo en el inexperto, más bien un ajuste gradual de sus propias concepciones, de manera que cada nuevo ajuste sienta las bases de ajustes posteriores, un proceso cuyo resultado es una reorganización sustancial de los propios conceptos centrales.

- 2) Dos características de una ecología conceptual se muestran en particular como guías del proceso de cambio desde una concepción a otra: a) las anomalías o fallos que presentan las ideas existentes y b) las creencias y los compromisos epistemológicos que van a constituir la base sobre la que se emiten los juicios acerca de un nuevo conocimiento.
- 3) Una propuesta como la planteada tiene como consecuencia unos objetivos curriculares que intenten desarrollar en los estudiantes los siguientes aspectos:
- la conciencia de los supuestos fundamentales y de los implícitos en la teoría científica.
 - la exigencia de coherencia entre sus creencias sobre el mundo.
 - la conciencia de los fundamentos epistemológicos e históricos de la ciencia moderna.
 - cierta comprensión de las posibilidades de las primeras concepciones que se les proponen.
- 4) Las estrategias didácticas propuestas para conseguir procesos de acomodación son:
- desarrollar actividades encaminadas a crear conflictos cognitivos en los estudiantes.
 - organizar la instrucción de forma que los profesores puedan emplear tiempo en diagnosticar los errores de pensamiento de los estudiantes.
 - desarrollar tipos de estrategias para tratar estos errores.
 - ayudar a los estudiantes a dar sentido al contenido científico
 - desarrollar técnicas de evaluación que ayuden a los profesores a seguir los procesos de cambio conceptual.

Para que no falte ningún punto relevante, Posner et al. apuntan también unas indicaciones sobre el papel del profesor en la línea de considerar que éste, tiene que convertirse en un "adversario" que continuamente confronte al estudiante con el problema provocando así la asimilación de las nuevas concepciones. Tiene además que representar el modelo de pensamiento científico con gran coherencia interna en sus teorías y en sus actuaciones, es decir, para que se produzcan **cambios**

conceptuales en los alumnos parece necesario que se produzca antes un cambio conceptual en el profesor con respecto a su propia labor docente.

1.2.4. Aprendizaje significativo

Cuando se produce una situación educativa, los resultados que pueden derivarse podrían venir representados por el esquema de la Figura 1.2. (Cubero, 1989).

Sólo cuando ocurre la tercera opción diremos que se ha producido un aprendizaje significativo, lo cual, desde el punto de vista constructivista, quiere decir que hay acuerdo entre nuestras experiencias y la información recibida. Ausubel (1978) define el "*aprendizaje significativo*" como aquél que se elabora de forma "no arbitraria", de forma "sustantiva" y con incorporación "no mecánica" de conocimientos en la estructura cognoscitiva.

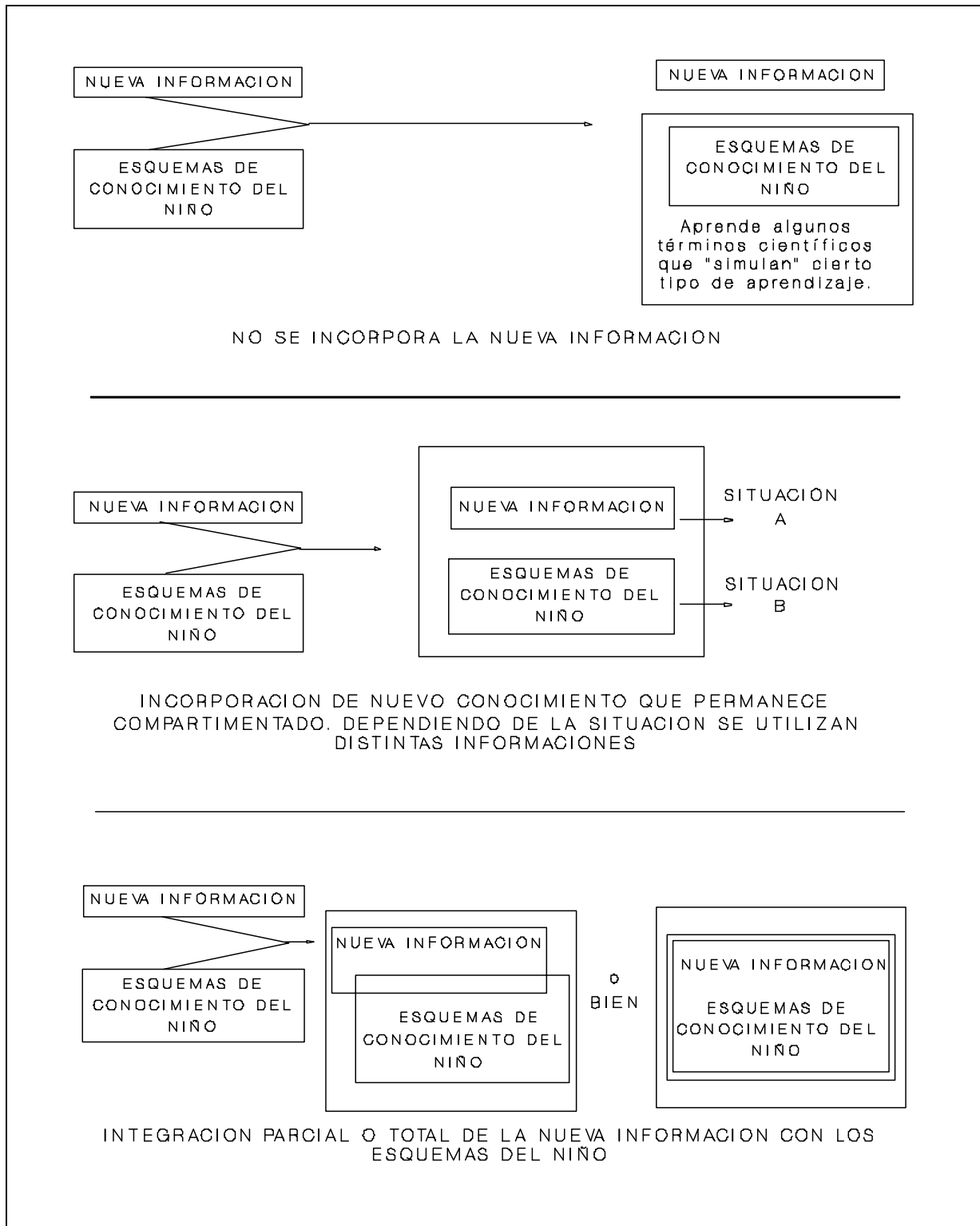


Figura 1.2. Posibles resultados de la situación educativa

La estructura cognoscitiva es una estructura de conocimientos almacenados en nuestras mentes que crecen y se desarrollan desde la más temprana infancia. Veamos el significado de algunos de los términos mencionados:

- No arbitrario: Un alumno aprende de una forma no arbitraria cuando hace un esfuerzo consciente por relacionar los nuevos conocimientos con aquéllos que ya posee.
- Sustantivo: El aprendizaje sustantivo ocurre cuando el alumno hace un esfuerzo consciente por identificar los conceptos claves del nuevo conocimiento y los relaciona con otros conceptos.
- No mecánico: La enseñanza no mecánica es el producto de una enseñanza no arbitraria y sustantiva. El aprendizaje mecánico se verifica cuando el estudiante memoriza simplemente algo sin pensar en lo que significa (comprender algo es establecer relaciones).

1.2.5. Modelo de evaluación

En un modelo de enseñanza tradicional la palabra evaluación se considera sinónimo de prueba, examen, control, y se concibe como una mera recopilación de datos cuya finalidad es calificar el rendimiento de un alumno exclusivamente desde el punto de vista de los conocimientos adquiridos. Sin embargo, la evaluación constituye una parte muy importante en el proceso de enseñanza/aprendizaje que sirve de punto de partida para una reflexión posterior que facilite la mejora continuada y reelaborada del trabajo del profesor.

El marco teórico en que se mueve el modelo de evaluación que vamos a describir podría apoyarse en los puntos de vista de Coll y Gimeno que podemos considerar complementarios.

Según Coll (1983) la evaluación educativa contempla una extensa gama de posibilidades existentes respecto al objeto mismo de la evaluación; tomando como unidad de análisis procesos de enseñanza/aprendizaje, podemos analizar estos elementos del currículo: los objetivos, el material, la metodología, el comportamiento del profesor, el ambiente del aprendizaje, los resultados del aprendizaje realizado por el alumno, e incluso el proceso tomado en su globalidad. Por otra parte, la evaluación

conduce a emitir un juicio, una valoración que surge al comparar un conjunto de informaciones relativas al objeto evaluado, con unos criterios previamente establecidos. En este sentido, "evaluar" no es sinónimo de "medir". La referencia a unos criterios con los que se compara, convierte la simple medición de un aprendizaje, en una evaluación. Por último, el proceso evaluativo no se agota en sí mismo: se evalúa siempre con alguna finalidad, con el propósito de disponer de una base más sólida para tomar decisiones de diverso orden.

Por otra parte, para Gimeno (1988), es evidente que es preciso ampliar el concepto de evaluación. La necesidad de una evaluación integral u holística, viene exigida por 4 razones:

- 1.- *Por considerar que la gama de efectos producidos por los métodos pedagógicos es amplia y que la evaluación debe considerarse en toda su amplitud.*
- 2.- *El hecho de que cualquier efecto educativo o resultado de aprendizaje es un producto de la interacción codeterminante de múltiples factores.*
- 3.- *Los resultados detectables en la evaluación son expresión de las interacciones entre todos los componentes del modelo didáctico, presentándose así como un instrumento de investigación del propio modelo didáctico.*
- 4.- *Es fundamental para la didáctica recuperativa. Los resultados no satisfactorios son una llamada al sistema en su conjunto, a todos sus elementos, por lo que es acientífico adjudicar la responsabilidad del proceso, exclusivamente al alumno.*

La idea de una evaluación exhaustiva no es compatible, hoy por hoy, con la búsqueda de datos de evaluación totalmente precisos, fiables y cuantificables. Se preconiza recurrir a las más variadas fuentes de información, incluidos todos los participantes del proceso de enseñanza/aprendizaje. En la práctica de dicha evaluación, es necesario asumir los márgenes de subjetividad que conlleva, adoptando una doble actitud: por un lado aceptarla y ser coherente con ella, no tomando posturas autoritarias, ni técnicas para la cuantificación a ultranza, y por otro lado, emprender una

lucha por un conocimiento más objetivo, confrontando las diversas subjetividades que se filtran a través de los más variados instrumentos y datos de observación personales.

Así pues, la evaluación se concibe no como un proceso de inspección externo e impuesto, sino como exigencia interna de perfeccionamiento, lo que implica como condición necesaria la participación voluntaria de quienes actúan y desean conocer la naturaleza real de su intervención y las consecuencias y efectos que produce.

En concreto, nuestro modelo de evaluación, basada en la tradición constructivista y por tanto, con clara raíz cognitiva, consiste en analizar y contrastar diferentes informaciones con el ánimo de contestar a las siguientes preguntas:

- *¿en qué medida los enfoques de enseñanza propuestos tienen en cuenta las ideas previas de los alumnos?*
- *¿se da la oportunidad a los estudiantes para construir sus propios significados y si es así, cómo hacen uso los alumnos de estas oportunidades?*
- *¿en qué medida los alumnos cambian sus concepciones como resultado de la secuencia de enseñanza?*

Este planteamiento de evaluación tendría que desarrollarse cubriendo las etapas descritas en "La evaluación formativa en una perspectiva cognitivista" de Allal (1979) y que son:

1. *Recogida de informaciones.*
2. *Interpretación de las informaciones recogidas.*
3. *Adaptación de las actividades pedagógicas.*

Estas etapas habría que recorrerlas trabajando en dos campos complementarios:

CAMPO DE LOS ALUMNOS: dada la importancia de las ideas previas que poseen los estudiantes antes de iniciar un determinado proceso de enseñanza-aprendizaje, consideramos un requisito imprescindible la exploración inicial o de pronóstico de las mismas y la elaboración de una serie de categorías donde podamos englobar a cada uno de los alumnos. Si uno de los objetivos de nuestra enseñanza es conseguir el cambio conceptual, a través de un cambio metodológico, tendremos que tratar de evaluar este cambio así como su persistencia a lo largo del tiempo.

En línea con la anterior nos planteamos también pruebas de tipo más o menos convencional en que podamos contrastar el avance que, en contenidos y destrezas, se produzca dentro de cada una de las unidades temáticas.

Para complementar este campo nos interesa saber la actitud de los alumnos hacia estas nuevas metodologías (Serrano, 88; Escudero, 85). Aparte de las observaciones en clase es conveniente utilizar algunos instrumentos tales como encuestas y entrevistas, en que registremos sus opiniones al respecto. Los estudiantes suelen cooperar de buen grado a este tipo de requerimientos si son conscientes de que sus opiniones van a tenerse en cuenta.

CAMPO DEL PROCESO: a parte de "medir" todo lo referente a los estudiantes estamos muy interesados en poder emitir juicios acerca de la:

- validez de la metodología empleada, así como de las secuencias concretas de aprendizaje propuestas para un determinado concepto o teoría.
- validez del currículo propuesto tanto en su lógica interna como en su adecuación a los alumnos a los que va dirigido.
- principales dificultades que se presentan en el proceso del cambio conceptual. Identificación de las ideas previas que persisten a pesar del aprendizaje.
- fiabilidad y validez de las pruebas en sí mismas así como de las preguntas que la componen y por tanto su adecuación como instrumento de medida.

Para conseguir el mayor nivel posible de fiabilidad en nuestras apreciaciones hay que utilizar diversos procedimientos característicos de este tipo de evaluación:

entrevistas con muestras representativas de alumnos, revisión de sus cuadernos de trabajo, grabación en audio y vídeo de las discusiones que se producen a nivel pequeño y de gran grupo, observaciones externas por parte de otros profesores...

El análisis conjunto, por parte de todo el equipo de profesores-investigadores de la información recogida nos llevará a revisar tanto los materiales diseñados y/o utilizados para la enseñanza como a detectar todos los problemas relacionados con el aprendizaje que se derivan de la misma.

Capítulo 2

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

La investigación cuya memoria presentamos ha tenido como finalidad el diseño de materiales curriculares correspondientes a una iniciación al estudio de la Mecánica y su posterior experimentación en un contexto escolar normalizado, utilizando una metodología de aula inspirada en la teoría constructivista del aprendizaje, ya comentada en el capítulo anterior. En lo relativo a la eficacia del proceso, se ha investigado hasta que punto va a producirse en los estudiantes un cambio conceptual, persistente en el tiempo, acompañado de una actitud positiva hacia el aprendizaje de la Ciencia. Además se ha realizado un estudio para comparar la eficacia como resolventes de problemas de los sujetos investigados frente a un grupo de control familiarizado con procedimientos de resolución de problemas considerados estándar en nuestras aulas.

Por otra parte, estábamos interesados en profundizar, desde una perspectiva cognitiva, sobre la interacción de las diferencias individuales en la respuesta de los sujetos al tratamiento aplicado. Este segundo aspecto del trabajo podemos enmarcarlo dentro de los llamados estudios ATI (aptitude-treatment interaction ó interacción de las aptitudes con el tratamiento), en su versión más amplia que considera como aptitudes atributos tales como sexo, edad... es decir, cualquier característica del sujeto que funcione selectivamente con respecto al aprendizaje efectuado sobre la base de algún método instructivo previamente diseñado (Cronbach, 1957; Koran y Koran, 1984). En concreto, nosotros hemos introducido como aptitudes del individuo que pueden interaccionar con el

aprendizaje científico, el nivel de desarrollo de razonamiento verbal, el nivel de razonamiento de la aptitud numérica y el sexo de los individuos.

El diseño de nuestra investigación se planteó inicialmente como un asunto complejo debido a la multiplicidad de variables consideradas como relevantes, unido a la diversidad de instrumentos utilizados en la experimentación. Vamos a abordar a continuación una panorámica general del mismo que posteriormente desarrollaremos detalladamente en los siguientes apartados.

Podemos enmarcar nuestro diseño en el grupo denominado *cuasi-experimental* en términos de Cook y Campbell (1979), ya que se ajusta a las características que estos autores consideran esenciales en este modelo tales como el empleo de escenarios naturales, estudio de grupos intactos, no seleccionados al azar, y control parcial de variables. Este tipo de diseños son muy utilizados en el campo de la educación.

En cuanto al tema de la *validez* del diseño utilizado, nos hemos decantado por el concepto de *validez ecológica* que se interesa por la generalización de los efectos experimentales a otras condiciones es decir, la idea clave es determinar en que circunstancias podríamos esperar los mismos resultados. Este tipo de validez se cumple, en opinión de R. Bisquerra (1989), cuando los hábitats o situaciones comparadas en un experimento son representativas de la población de situaciones a las que el investigador desea generalizar los resultados o, en otras palabras, los sujetos son estudiados en su 'hábitat' en el sentido ecológico del término. Los diseños que cumplen este tipo de validez, tienen la ventaja de evitar los llamados efectos de reactividad, según los cuales los fenómenos observados cambian por efecto de la observación.

Con respecto a las muestras utilizadas, los sujetos han sido alumnos de 2º de BUP, desarrollándose la experiencia en el marco de la asignatura de Física y Química correspondiente a

dicho curso. Estos estudiantes han trabajado a lo largo del curso con la metodología y los materiales comentados, a fin de favorecer en ellos el cambio conceptual, a partir de cambios metodológicos y actitudinales, todo ello en el marco teórico del constructivismo entendido como una familia de teorías que tienen una idea común: *el que aprende construye activamente sus propios significados*.

La metodología de trabajo utilizada ha estado orientada por el paradigma *investigación-acción* donde el profesor juega el doble rol profesor/investigador. La idea de investigación en la acción fue introducida por Kurt Lewin (1946), para describir un modo de investigación que se caracteriza por una práctica social reflexiva, donde no se distingue entre la práctica que se investiga y el proceso de investigación de esa práctica. En este tipo de investigación los profesores no serán consumidores pasivos de lo investigado, sino que ellos participarán en el proceso de estudio y mejora de dicha práctica negando, en consecuencia, la idea mayoritariamente admitida de que la investigación educativa está reservada para los "expertos" académicos externos al aula (Elliott, 1986, 1993).

En nuestro país ha habido contribuciones muy interesantes en la línea que estamos comentando pudiéndose destacar las aportaciones de Gimeno Sacristán (1985, 1988) o las que nos han llegado de la Universidad de Sevilla de mano del grupo dirigido por R. Porlan. En opinión de este autor, el profesor - investigador queda descrito como:

" el profesor que investiga en el aula, sólo o con ayuda de observadores externos, para resolver los problemas concretos (investigación para la acción) y, paralelamente, reflexionar, teorizar y reconstruir progresivamente el curriculum. Desde esta perspectiva, investigación en el aula, cambio curricular y formación del profesor, son tres aspectos de un mismo proceso permanente " (Porlan, 1987, p. 64).

Antes de adentrarnos en la descripción del trabajo realizado, queremos hacer una llamada de atención sobre la posible influencia que pueda tener el hecho de que el investigador sea precisamente el profesor que imparte la asignatura y, como consecuencia, pueda ejercer algún tipo de "poder" sobre los estudiantes. Esta influencia existe y los investigadores que trabajan en estas circunstancias tienen que ser conscientes de ello e intentar reducirla al mínimo, teniéndola, en todo caso, presente para la validación de los resultados. A este respecto queremos destacar aquí una idea interesante manifestada por L. Stenhouse:

"El problema de la objetividad me parece falso. Toda investigación realizada en aulas ha de procurar mejorar la enseñanza. Así pues, toda investigación debe ser aplicada por profesores, al igual que la investigación más clínicamente objetiva sólo puede ser aplicada, en la práctica, por un actor interesado que participe en la situación. Y no hay forma de eludir el hecho de que la percepción subjetiva es lo que es crucial para la práctica, ya que está en situación de controlar el aula. Por tanto, nos interesa el desarrollo de una perspectiva subjetiva, sensible y autocrítica, y no una aspiración hacia una objetividad inalcanzable " (Stenhouse, 1987 p. 212).

En concordancia con la reflexión anterior, únicamente añadir que a pesar de la posible incidencia comentada, el lugar del profesor puede considerarse como una plataforma privilegiada para observar el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje dentro de un aula y esta convicción, así como anteriores experiencias personales, (García y otros, 1989 y Santisteban y Varela, 1992), nos ha llevado a desarrollar nuestra investigación dentro de este paradigma.

2 . 2 . FASES DEL TRABAJO Y TEMPORALIZACIÓN

El desarrollo temporal de la investigación se ha realizado a lo largo de cuatro fases cuyo contenido se presenta a continuación:

° *Fase preliminar*

El trabajo empezó durante el curso académico 1992-93, con una actualización bibliográfica sobre esquemas alternativos en el campo de la Energía Mecánica para posteriormente proceder a la selección de pruebas de lápiz y papel, destinadas a evaluar las ideas de los alumnos y su posterior evolución. Se realizaron actividades de ensayo con muestras pequeñas.

En consonancia con las respuestas de los estudiantes, se realizó un esbozo de lo que podría ser la propuesta curricular sobre el campo estudiado, de acuerdo también con la bibliografía disponible de proyectos tanto españoles como de otros países.

° *Fase experimental piloto*

El núcleo central del trabajo de campo se realizó, en esta fase, a lo largo del curso académico 1993-94 con un estudio piloto. Dentro de él pueden considerarse cuatro tareas claramente diferenciadas:

- a) Detección de esquemas conceptuales de los alumnos que iban a constituir la muestra para este estudio piloto.
- b) Tras el análisis de resultados se procedió al diseño de los materiales de acuerdo con los presupuestos curriculares donde estaba enmarcada la investigación.
- c) Trabajo a lo largo del curso con los materiales correspondientes y, en concreto, con los que abordan el estudio de la Energía Mecánica ya comentado, realizándose la observación del desarrollo de las clases y la evaluación del cambio conceptual obtenido.

- d) Revisión de los materiales a la luz de la información obtenida en el apartado anterior.

° *Fase experimental.*

A lo largo de esta fase, curso 1994-95, que se puede considerar propiamente la fase experimental, se procedió a realizar las tareas que se exponen a continuación:

- a) Detección de esquemas conceptuales de los alumnos que iban a constituir el grupo experimental; para cada uno de los conceptos abordados, la evaluación inicial o de diagnóstico se hizo aproximadamente dos meses antes de comenzar la experimentación realizándose entrevistas individuales encaminadas a profundizar en las ideas de los alumnos. Determinación de las variables cognitivas para los sujetos que iban a constituir la muestra experimental.
- b) Experimentación dentro del aula de los materiales diseñados llevando a cabo también observaciones para matizar algunos aspectos que seguían presentando algún tipo de obstáculos.
- c) Toma de datos sobre la capacidad de resolución de problemas de Mecánica con estudiantes correspondientes al grupo experimental y al de control.

° *Fase evaluativa.*

En el transcurso de esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- a) Constatar los esquemas conceptuales de los estudiantes del grupo experimental con la finalidad de determinar un posible cambio conceptual.
- b) Evaluar los problemas realizados por los estudiantes del citado grupo correspondientes al área curricular en que se ha trabajado.

- c) Proceder a idéntica evaluación con los sujetos del grupo control a fin de estudiar posibles diferencias con el grupo experimental.
- d) Detectar las actitudes de los estudiantes hacia los materiales y la metodología investigativa desarrollada en el aula.
- e) Verificar la persistencia del cambio conceptual producido. Tomando como base teórica la idea, ampliamente compartida por los investigadores en este campo, de que las ideas originales de los estudiantes vuelven a implantarse, en mayor o menor grado al cabo de cierto tiempo de haber recibido instrucción en un campo concreto, nos ha parecido imprescindible comprobar la persistencia del cambio conceptual en el transcurso del tiempo (McDermott, 1984; Osborne y Freyberg, 1985; Tiberghien, 1983). De acuerdo con esta premisa, transcurridos diez meses desde el término de la experimentación, se procedió a realizar una exploración para determinar cual era, en ese momento, el mapa conceptual de los estudiantes que habían constituido el grupo experimental.

2. 3. NATURALEZA Y ENTORNO DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS

El grupo experimental de esta investigación, ha estado formado por 84 alumnos de segundo de BUP, pertenecientes a los Institutos Ramiro de Maeztu y Rey Pastor de Madrid. Esta muestra ha sido escogida de forma *incidental* con el criterio de que dos de las investigadoras fueran sus profesoras para la asignatura de Física y Química.

Los institutos mencionados pueden considerarse centros prototipos de instituto urbano de nuestro país con unas instalaciones aceptables, disponiendo ambos de laboratorios y material para el desarrollo de la enseñanza en asignaturas experimentales.

Como datos complementarios podemos aportar que el 48% de la muestra utilizada eran varones y el 52% mujeres, teniendo aproximadamente el 50% de los padres y el 20% de las madres algún tipo de estudio universitario por lo que pueden considerarse pertenecientes a un estatus socioeconómico medio-medio/alto.

En cuanto al problema de la representatividad y el tamaño de la muestra, diversos autores han teorizado al respecto. Así, refiriéndose al tamaño ideal para este tipo de estudios, algunos investigadores opinan que no se obtiene, prácticamente, una mayor generalidad por aumentar el número de individuos explorados sino que, por el contrario, la validez de la investigación viene avalada por un diseño rico que "ilumine" diferentes aspectos del problema a investigar y, como consecuencia, señalan la necesidad de arbitrar mecanismos de exploración y contrastación de hipótesis de tal forma que los resultados obtenidos puedan considerarse complementarios (Larkin y Rainard, 1984).

Otra aportación interesante en la línea que estamos comentando, es la realizada por D. Fox (1987), cuando afirma:

"La pregunta sobre qué tamaño debe tener una muestra en lo esencial no tiene respuesta, salvo decir que debe ser suficientemente grande para conseguir la representatividad. Evidentemente el número que se necesita para ello variará de un estudio a otro " (p 395).

El autor concluye que el tamaño muestral correcto es el tamaño necesario para conseguir la precisión que el investigador desee.

En consonancia con las opiniones apuntadas, en la elección de la muestra para esta investigación se ha primado el aspecto de la *representatividad* sobre el problema del tamaño, entendida

la primera en el sentido de considerar la muestra seleccionada como representativa del universo al cual se quieren extrapolar las conclusiones que se obtengan de la investigación. En nuestro caso la representatividad vendría garantizada por el hecho de que el grupo experimental ha estado constituido por grupos de clase estándar de Institutos de Bachillerato que podemos considerar prototipos de una amplia muestra de centros españoles, universo al cual podremos extrapolar las conclusiones obtenidas.

Todos los argumentos anteriores se puede aplicar al grupo de alumnos con que se hizo el estudio piloto durante el curso 1993-94 (57 alumnos) y al grupo que llamaremos de control (35 alumnos) con el que se ha realizado un estudio comparativo para estimar la eficacia del trabajo realizado en lo que a la capacidad de resolver problemas se refiere.

2. 4. IMPLICACIONES CURRICULARES

La Física y Química de 2º BUP, cuyo desarrollo curricular se ha abordado en esta investigación, es materia obligatoria para toda la población escolar y por lo tanto impartida a un conjunto heterogéneo -en preparación y motivaciones- de estudiantes. Este hecho ha conducido a los profesores de este nivel a basar el desarrollo de la misma en planteamientos de tipo explicativo de fenómenos naturales apoyándose en trabajos de carácter experimental y centrándose, desde el punto de vista conceptual, en un conjunto de conceptos que permitan abordar toda la materia.

Los nuevos currículos de Física y Química para la Enseñanza Secundaria Obligatoria, que están implantándose en los Institutos españoles, han recogido los planteamientos arriba indicados e incluso se habla en ellos de los llamados *conceptos estructurantes* para toda la asignatura, uno de los cuales es precisamente la energía, utilizado en nuestra propuesta como eje conceptual tal como comentaremos a continuación.

En el sentido que venimos apuntando, nuestra propuesta curricular presenta el desarrollo del estudio de la Física para un curso de iniciación en Secundaria, articulado alrededor del concepto de energía, haciendo hincapié en sus cualidades más características, conservación y degradación. Posteriormente se han ido abordando las distintas formas de energía, eléctrica, térmica y mecánica, para cubrir los correspondientes campos del curriculum siempre utilizando un principio de economía en lo relativo a la complejidad conceptual de la materia. En el futuro queremos completar el programa actual mediante el diseño de la Química para la Enseñanza Secundaria Obligatoria.

La orientación de la propuesta que estamos comentando coincide, por otra parte, con la aportada por la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias. Así, en unas jornadas realizadas en Berkeley en 1986, cuarenta y cinco expertos en investigación y enseñanza de las ciencias hicieron la siguiente recomendación en lo que al curriculum se refiere: *"para ayudar a los estudiantes a un aprendizaje eficaz, es fundamental tratar en profundidad un número limitado de tópicos, frente a un tratamiento superficial de un número elevado de los mismos"* (M.C. Linn, 1987, p. 202). Por otra parte, autores tan señalados como Reif y Larkin (1991), llaman la atención sobre la necesidad de hacer conscientes a los alumnos de que la Ciencia está articulada alrededor de unos pocos principios generales que presentan la virtualidad de poder aplicarse a un amplio número de situaciones y en este sentido toman las palabras de Einstein:

"El objetivo de la Ciencia es, por un lado, la comprensión, lo más completa posible, de la relación entre las experiencias de los sentidos en su totalidad, y, por otro, la consecución de este objetivo usando un mínimo de relaciones y conceptos primarios " (p. 738).

2.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS

Antes de comentar las técnicas de análisis utilizadas en nuestra investigación, merece la pena comentar un problema que se ha venido planteando en este tipo de trabajos y que podríamos titular:

Métodos cuantitativos/métodos cualitativos: un enfrentamiento a superar.

En el ámbito de la investigación didáctica, las orientaciones de corte etnográfico tienen en la actualidad una presencia importante y en esta línea, la metodología empleada en nuestro trabajo ha incorporado esta perspectiva. A lo largo de la investigación, hemos combinado tratamientos de tipo cuantitativo, con técnicas cualitativas (observación, entrevistas....) más idóneas a la hora de profundizar en las características de los razonamientos empleados por los estudiantes.

Antes de adentrarnos en la descripción de nuestro trabajo, vamos a justificar, desde una perspectiva teórica, el empleo de ambas metodologías. Se puede considerar que hasta finales de los años 70, los investigadores en Didáctica de las Ciencias se encontraban en el que se ha venido en llamar "paradigma científico de la investigación", caracterizado por poner el acento en aspectos cuantitativos del conocimiento acompañados generalmente por tratamientos de tipo estadístico-matemático. La irrupción de la Psicología del aprendizaje en el campo de la Didáctica de las Ciencias, ha favorecido un desplazamiento de los investigadores, a partir de los años 80, hacia metodologías preferentemente más cualitativas cuando se quiere profundizar en la estructura cognitiva de los estudiantes.

En el momento actual, los esfuerzos se han encaminado a buscar la compatibilidad y complementariedad entre los dos enfoques con la idea de posibilitar el uso conjunto de los mismos y, en la línea de clarificación sobre qué se consideran investigaciones cualitativas o cuantitativas, ha habido en

España aportaciones recientes como la de Morales y Moreno (1993), que han hecho un planteamiento de fondo sobre qué estrategias hay que utilizar para diferenciar un enfoque del otro. Estos autores apuntan como solución dos elementos de análisis: la noción de paradigma utilizado por el investigador (características epistemológicas y características relacionadas con la contrastación), y la actitud que cada investigador adopta ante el problema a investigar.

Otra aportación interesante en el marco de la discusión que venimos comentando, son los planteamientos conciliadores de Cook y Reichardt tratando de responder a preguntas del tipo:

¿Es preciso escoger entre el paradigma cualitativo o el cuantitativo?

¿Por qué no emplear tanto los métodos cualitativos como los cuantitativos?

En cuanto a la primera, los autores opinan que no hay que limitarse a uno u otro de los paradigmas cuando pueden elegirse atributos de ambos con la finalidad de atender mejor a las exigencias de la investigación, es más, no ven problema para que en el curso de la misma se pase de uno a otro si conviene al trabajo que se está realizando. En la misma línea plantean, la para ellos falsa dicotomía: métodos cualitativos versus métodos cuantitativos, utilizando los siguientes argumentos:

"La investigación evaluativa tiene por lo común propósitos múltiples que han de ser atendidos bajo condiciones diferentes que, a menudo, exigen variedad de métodos. Empleados en conjunto y con el mismo propósito, los dos tipos de métodos pueden vigorizarse mutuamente para brindarnos percepciones que ninguno de los dos podría conseguir por separado. Ya que los métodos cuantitativos y cualitativos tienen con frecuencia sesgos diferentes, será posible emplear cada uno de ellos para someter al otro a

comprobación y aprender de él" (Cook y Reichardt, 1986, p. 43).

Apoyándonos en toda la reflexión teórica que hemos presentado y, tal como comentamos al principio de este apartado, hemos tomado la opción de utilizar ambas metodologías de trabajo de acuerdo con las necesidades surgidas en el diseño de la investigación comentando a continuación, algunas de las técnicas que hemos utilizado.

A la hora de analizar los datos obtenidos, hemos realizado, por una parte, análisis descriptivos de los resultados mediante la utilización de tablas de frecuencias, representaciones gráficas, etc. Para profundizar en el pensamiento de los estudiantes se han realizado entrevistas grabadas en audio, posteriormente transcritas y analizadas.

En lo relativo al estudio de actitudes, hemos empleado un cuestionario de lápiz y papel cuyos datos se han recogido utilizando un diferencial semántico - instrumento frecuentemente utilizado en este tipo de mediciones (Schibeci, 1982; Serrano 1988) - acompañado de una valoración global del trabajo realizado, lo que nos va a permitir, no sólo una valoración cuantitativa, sino extraer conclusiones de corte más cualitativo muy interesantes para investigaciones como la realizada.

Para la contrastación de las hipótesis planteadas en esta investigación se han realizado análisis de tipo cuantitativo. Así en lo relativo a las respuestas de los estudiantes sobre los esquemas conceptuales explorados se han categorizado en tres niveles, de mayor a menor, según la calidad de las contestaciones emitidas. Una clasificación de estas características reúne las cuatro propiedades que en opinión de D. Fox (1987) son deseables cuando se establece un conjunto de categorías: "*homogeneidad, inclusión, utilidad y exclusión mutua*" (pp.178-179).

De acuerdo con este planteamiento se ha definido una escala de *tipo ordinal o de rangos* y en consonancia se han utilizado pruebas estadísticas no paramétricas (Siegel 1979). Así en los estudios encaminados a contrastar si se han producido diferencias significativas dentro del grupo experimental, como consecuencia del trabajo realizado, se ha utilizado la *prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon*, que nos va a dar, no solamente la dirección de las diferencias sino la magnitud de las mismas. Esta prueba nos va a permitir rechazar la hipótesis nula con el grado de significatividad que se estime previamente.

Para determinar diferencias significativas con el grupo control, se ha utilizado la *prueba U de Mann-Whitney*, estadístico muy potente para probar si dos grupos independientes han sido tomados de la misma población. La potencia de la prueba es similar a la de Wilcoxon antes mencionada.

El tratamiento de datos utilizando las pruebas mencionadas hasta ahora, se han realizado con el programa STATVIEW GRAPHICS (Apple, 1991), trabajando, en el análisis de resultados con un nivel de significatividad del 1%.

SEGUNDA PARTE¡Error! Marcador no definido.

**RESEÑA DE LA INVESTIGACIÓN ACERCA DE LA
PRIMERA PARTE DEL CURRÍCULO**

Capítulo 3

LA ENERGÍA: NÚCLEO DEL DISEÑO CURRICULAR EN FÍSICA

3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La elección del tema de la energía como base y núcleo sobre el que se estructura el currículo de la Física en la Enseñanza Secundaria Obligatoria obedece a varios motivos:

Por una parte está la innegable importancia del tema, así como la cantidad de posibilidades que ofrece respecto al enfoque de distintas materias desde el punto de vista energético, por supuesto no sólo dentro de las tradicionalmente incluidas dentro de la Física, sino también dentro de la Química, como el estudio del enlace y de las reacciones químicas, dentro de la Biología en el estudio energético de los biosistemas, y en Ciencias Sociales, en general, en las que se analiza cómo el desarrollo de los países depende de la utilización de sus recursos energéticos y puede medirse por el consumo de energía per cápita, etc.

Otro motivo fundamental es la vigencia que han adquirido los temas relacionados con la energía en el ámbito de la cultura popular, donde los medios de información utilizan habitualmente expresiones como "consumo de energía", "energías limpias", "residuos energéticos", etc. Un estudiante debería poder interpretar y manejar estos términos desde el punto de vista de la Ciencia, y también relacionar el consumo de energía con la degradación de ésta.

Por otra parte, estas consideraciones son comunes a diversos grupos de trabajo e investigación que en los últimos años han elaborado diversos cursos y proyectos curriculares que tratan el tema de la energía y su conservación desde un punto de vista

distinto del tradicional en la enseñanza básica de la Física, tales como el Proyecto "Children Learning in Science" de la Universidad de Leeds, el Proyecto "Learning Science Project" de la Universidad de Waikato, o el Proyecto del grupo Axarquía, en España.

Tradicionalmente se ha enfocado el estudio de la energía y su conservación a partir de las nociones de Fuerza, Trabajo mecánico, Energía mecánica y su conservación y, posteriormente, Energía térmica, concluyendo con el estudio de las máquinas térmicas. Este tratamiento ha demostrado no ser eficaz en el aspecto de proporcionar una idea global de la energía ni de sus transferencias, transformaciones, conservación y degradación, sino que más bien restringe el concepto de la energía al campo de la Mecánica, produce una identificación entre Trabajo y Energía, y además no capacita a los estudiantes para aplicar el Principio de Conservación en situaciones variadas (Viennot, 1979; Driver y Warrington, 1985; Duit, 1983). Por otra parte, induce la idea de que el calor es algo que poseen los cuerpos, no diferenciando entre Energía interna y su transferencia. Tampoco resuelve el conflicto entre el Principio de Conservación y la Degradación de la Energía.

Todo esto sin mencionar la persistencia en la confusión entre los conceptos de Fuerza, Trabajo, Energía, etc., y de las demás ideas previas que poseen los alumnos antes de la instrucción, lo que se trata en otros apartados de esta Memoria.

Como consecuencia de todo el análisis expuesto, existe una opinión generalizada de que hay que modificar la enseñanza del concepto de Energía, aunque con diferentes criterios en el modo de hacerlo, lo que ha dado origen a fuertes controversias. Por ejemplo, en lo que se refiere a la conceptualización de la energía hay autores (Warren, 1982) que sostienen que se debe dar una *definición operativa* de la energía a partir del trabajo mecánico, mientras que otros (Duit, 1981, 1987; López Rupérez, 1983; y una mayoría de los que han diseñado materiales curriculares sobre el tema) defienden que se puede dar una *definición descriptiva* de la energía que posteriormente se irá completando.

En cuanto al punto de partida hay varios enfoques, como reseña Duit en un resumen sobre este tema (1986):

- Comenzar con el concepto de la energía como sustancia cuasi-material (Schmid, 1982). En esta línea pueden citarse los que inician el tema con transformaciones energéticas (por ejemplo, el Proyecto S.C.I.S, 1971), ya que utilizan, en la mayor parte de los casos, la imagen de flujo energético. Estos autores pertenecen a lo que Warren denomina *grupo materialista*.
- Partir de la conservación de la energía, centrándose en la importancia que los Principios de Conservación tienen en la Física (Feynman et al., 1969). Este planteamiento presenta el inconveniente de requerir un gran esfuerzo de comprensión por parte de los alumnos más jóvenes.
- Comenzar con el concepto de calor, por ser más fácil abordar experimentalmente la conservación de la energía a partir de esta idea (Proyecto COPES, 1969).

Tras analizar los diferentes enfoques descritos, opinamos, en la línea de Duit (1986), que independientemente de la orientación elegida, el estudio de la energía debe tener en cuenta cinco aspectos básicos:

- Conceptualización de la energía.
- Transferencia de energía
- Transformación de la energía
- Conservación de la energía
- Degradación de la energía

Estos cinco aspectos son de igual importancia, aunque generalmente se dedica menos tiempo al aspecto de la degradación, situación que se podría cambiar abordando desde el principio, paralelamente, las ideas de conservación y degradación.

En cuanto a la conceptualización del término energía hemos elegido la propuesta por López Rupérez, Duit, y otros, en que se puede dar una *definición*

descriptiva de la energía a la que mediante un proceso gradual se le incorporen nuevos atributos que completen su cuadro conceptual. En nuestro modelo, la **ENERGÍA** se introduce como *una magnitud fundamental, característica de los sistemas, en virtud de la cual éstos pueden transformarse, modificando su estado o situación, así como actuar sobre otros sistemas originando en ellos procesos de transformación*. El trabajo y el calor se introducen con posterioridad como procesos de intercambio de energía. En todo momento se intenta evitar la idea cuasi-material de energía como flujo propuesta por Schmid y cuestionada por diversos autores.

La conceptualización elegida para la energía nos proporciona la base para un estudio posterior de la Física enfocado en las ideas de conservación y degradación de cada uno de los tipos de energía y de sus transformaciones mutuas. Todo ello queda resumido en la Figura 3.1.:

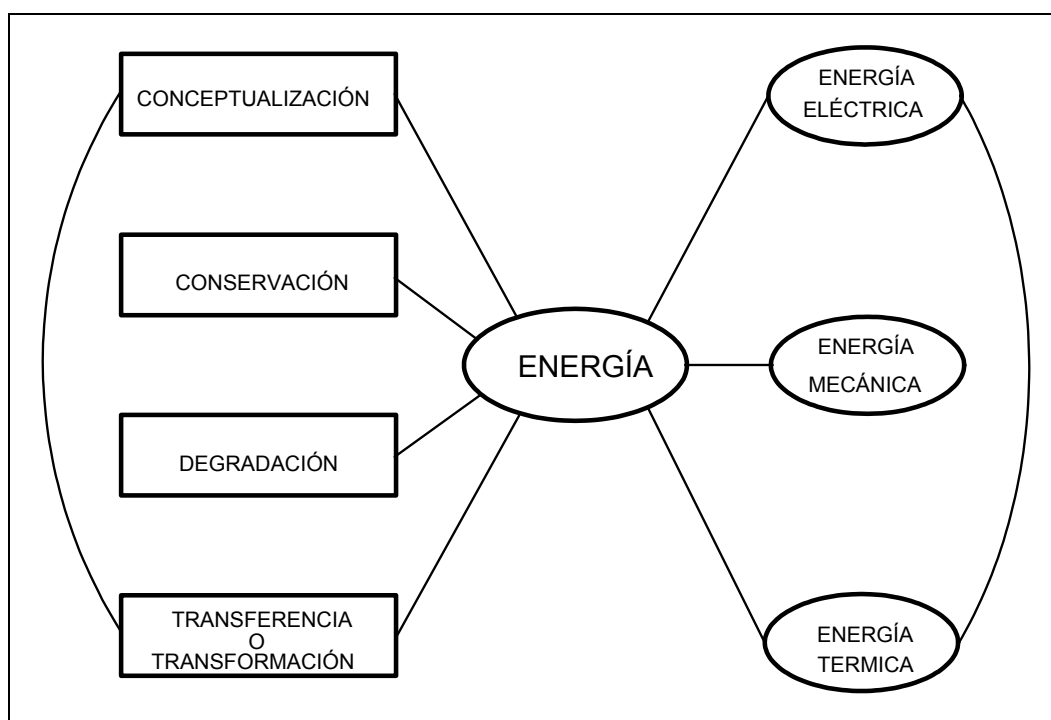


Figura 3.1. Esquema general del diseño de los materiales

Para dar una idea integrada de todas las Ciencias, hemos destacado la importancia de la energía en la realización de procesos biológicos (nutrición, fotosíntesis,...) y tecnológicos (centrales eléctricas, electrodomésticos, etc...).

A lo largo de todo el diseño, se ha procurado que los alumnos se vean obligados a operar tanto en el dominio cotidiano como en el dominio científico ya que, como nos indica Solomon (1983): *los alumnos que han demostrado su capacidad para pasar de un dominio a otro sin errores, poseen una comprensión más firme de la abstracción que supone la energía y de sus transformaciones.*

3.2. COMO CONSTRUYEN LOS ESTUDIANTES EL CONCEPTO DE ENERGÍA

El primer paso de esta investigación ha consistido en una revisión bibliográfica sobre las ideas alternativas de los alumnos en este campo. Los trabajos existentes se pueden agrupar en dos grandes líneas: 1) *Conceptualización de la energía* (Favieres et al., 1989; Kruger et al., 1992; Watts, 1983a) y 2) *Transferencia y conservación de la energía* (Driver y Warrington, 1985; Duit, 1983, 1986; Favieres et al., 1989; Hierrezuelo y Molina (1990); Kruger et al., 1992; Solomon, 1985).

De acuerdo con esta clasificación, en este trabajo se han utilizado pruebas de lápiz y papel del tipo asociación de palabras y elección múltiple que abarcan ambos campos. Para profundizar en las ideas subyacentes en las respuestas proporcionadas por los estudiantes se realizaron entrevistas clínicas tipo Piaget a una muestra representativa de los mismos, cuyo objetivo era comprobar si correspondían a afirmaciones superficiales y fáciles de modificar o, por el contrario, respondían a estructuras más coherentes.

Conceptualización de la energía: prueba de asociación de palabras

Se ha elegido la modalidad de presentar una palabra estímulo - **energía** - y una lista de términos correspondientes a los conceptos con que usualmente la confunden los alumnos.

<p>¡Error! Marcador no definido.1.- Entre las palabras que se indican a continuación, elige DOS. las que te parezcan más relacionadas con la</p>

energía.	
Alimentos	Movimiento
Electrodomésticos	Atleta
Explosivos	Pila eléctrica
Fuerza	Trabajo
2.- Escribe dos frases que indiquen la relación entre la energía y cada una de las palabras que has elegido.	

Figura 3.2. Prueba de asociación de palabras

El análisis de las frases con que los alumnos justificaban su elección condujo a una clasificación de los significados que la palabra energía tiene para ellos. Las categorías establecidas se presentan en la Tabla 3.1, así como el número y porcentaje de alumnos asignados a cada categoría (dos asociaciones por cada uno de los 212 alumnos que realizaron esta prueba).

¡Error! Marcador no definido.	Categorías	Nº alumnos	Porcentaje
I. Identificación con el concepto de Fuerza		121	28.5
II. Identificación con el concepto de Trabajo		89	21.0
III. Asociación exclusiva de Energía con Movimiento		86	20.3
IV. Energía como ingrediente o depósito		99	23.3
V. Idea funcional de Energía		23	5.4
VI. Concepción antropomórfica de la Energía		6	1.4
TOTAL		424	100

Tabla 3.1. Asociación de palabras: Categorías

Estas categorías son similares a las descritas en la literatura. Sin embargo, cuantitativamente, la relación de la energía con la fuerza, el trabajo y el movimiento resulta mayor en nuestra muestra (un 70% de los estudiantes eligen alguna de estas palabras entre las posibles). Una razón puede ser que, por su edad (15-16 años), los alumnos ya han visto algo de Física en sus estudios primarios aunque no han alcanzado una discriminación clara entre los conceptos mencionados de Fuerza, Trabajo y Energía.

En un segundo lugar aparece la idea de energía como ingrediente, asociada fundamentalmente con la pila eléctrica (14%) pues tanto alimentos como explosivos no son elegidos prioritariamente. Por último, la idea antropomórfica de la energía es muy minoritaria, también en desacuerdo con los resultados de otros investigadores.

Transferencia y conservación de la energía: "camión de Micky" y "cambio imposible"

El análisis de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas aplicadas durante un estudio transversal previo (Favieres et al., 1989), en particular las explicaciones proporcionadas por los alumnos, nos condujo a seleccionar como pruebas definitivas para este trabajo dos de tipo general utilizadas por el proyecto CLIS (Brook y Driver, 1984): "Camión de Micky" y "Cambio imposible".

Camión de Micky

Su objetivo es explorar si los alumnos tienen asimilada la idea de energía acumulada (potencial) o si, por el contrario, asocian energía a movimiento (Solomon, 1983; Watts, 1983a, etc.). También se pretende observar si introducen en su explicación los aspectos de conservación y degradación de la energía.

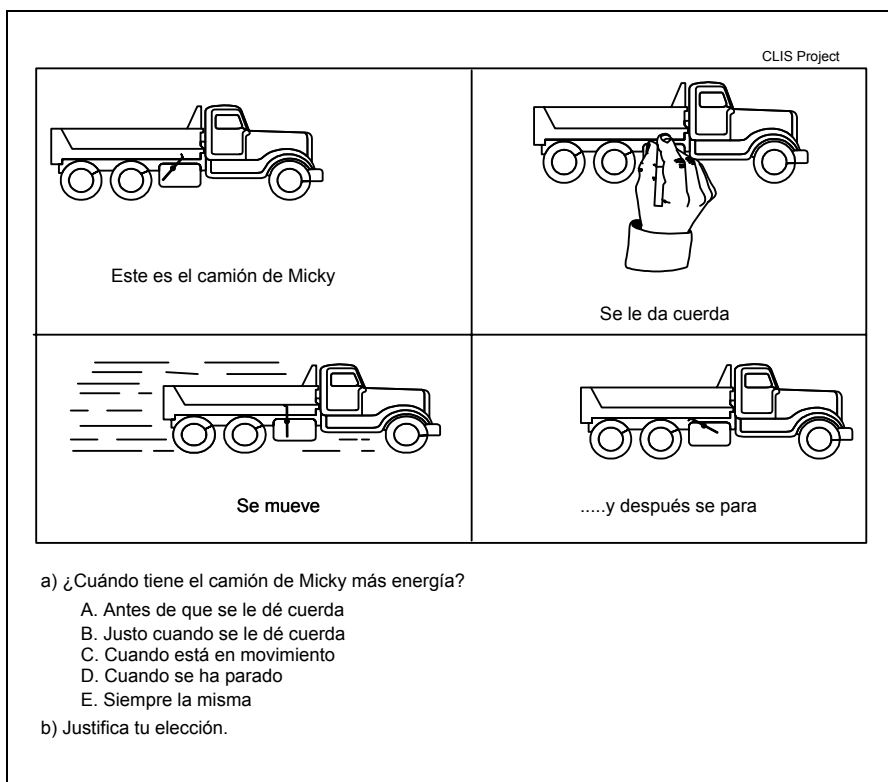


Figura 3.3. Camión de Micky

El análisis de los razonamientos con que los alumnos justifican su elección y de las entrevistas realizadas nos condujo a categorizar las respuestas tal como se presenta en la Tabla 3.2.


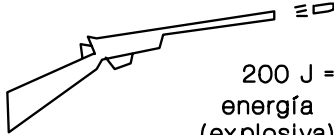
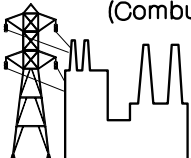
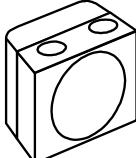
¡Error! Marcador no definido.	Categorías	Nº alumnos	Porcentaje
	I. Interpretaciones aceptables en términos de energía	108	59
	II. Confusión Energía - Fuerza	7	4
	III. Identificación Energía-Movimiento	30	16
	IV. Aplicación incorrecta del Principio de Conservación de la Energía	11	6
	V. No codificables	28	15
TOTAL		184	100

Tabla 3.2. El camión de Micky: Categorías

Hay que señalar que la idea alternativa de energía asociada a movimiento se manifiesta tanto entre los alumnos que escogen la opción del camión en movimiento como entre aquellos que, eligiendo la opción correcta, razonan de manera equivocada. Del análisis de las respuestas se deduce también que no reconocen la existencia de energía potencial.

Cambio imposible

Su objetivo es comprobar si los alumnos son capaces de aplicar el principio de conservación, unido a la idea de degradación de la energía. La información que se puede obtener de esta cuestión es bastante amplia, lo que nos ha llevado a escogerla como prueba para evaluar el cambio conceptual experimentado por los alumnos después de la instrucción.

<p>A)</p>  <p style="text-align: center;">BOMBILLA $100 \text{ J} \implies 40 \text{ J}$ energía (eléctrica) energía (luz)</p>	<p>B)</p>  <p style="text-align: center;">RIFLE $200 \text{ J} \implies 250 \text{ J}$ energía (explosiva) energía de bala en movimiento</p>
<p>C)</p>  <p style="text-align: center;">CENTRAL $280000 \text{ J} \implies 70000 \text{ J}$ energía (Combustible) energía (eléctrica)</p>	<p>D)</p>  <p style="text-align: center;">ALTAVOZ $3 \text{ J} \implies 0,5 \text{ J}$ energía (eléctrica) energía (sonido)</p>

a) ¿Cuál de los cambios de energía **A, B, C, D** no podrá ocurrir nunca?.

b) Justifica tu elección.

Figura 3.4. Cambio imposible

La Tabla 3.3 presenta la distribución de alumnos según los razonamientos empleados en sus respuestas.

¡Error! Marcador no definido.Categorías	Nº alumnos	Porcentaje
I. Interpretaciones aceptables en términos de conservación de la energía	64	34.1
II. Cambios intrínsecamente imposibles	47	25
III. Fenómenos no relacionados con la energía	19	10.1
IV. Idea de rentabilidad	17	9
V. No codificables	41	21.8
TOTAL	188	100

Tabla 3.3. Cambio imposible: Categorías

Hay que destacar la existencia de cierta incapacidad para admitir la transformación de unas formas de energía en otras, como por ejemplo la transformación de energía química de un combustible en eléctrica en una central térmica o la de energía eléctrica en sonora en un altavoz. También se rechazan algunas transformaciones por criterios de rentabilidad (bombilla).

Como conclusión podemos afirmar que la muestra con que se ha trabajado no tiene asumido el principio de conservación de la energía conjuntamente con la idea de degradación. La idea de que en **toda** transformación real la energía total se mantiene constante, pero solamente es utilizable una energía **menor** que la suministrada no está en el bagaje científico de estos estudiantes.

3.3. DISEÑO DE LOS MATERIALES DIDÁCTICOS

De acuerdo con la justificación indicada y los resultados de las exploraciones previas de los estudiantes, la Unidad Didáctica se ha dividido en seis actividades:

- I - Ideas previas sobre energía.
- II - Necesidad de la energía.
- III - Cuantificación de la energía.
- IV - La energía: Sus fuentes y transformaciones.
- V - La energía y su conservación. Energía útil.
- VI - Degradación de la energía.

A continuación vamos a hacer una pequeña descripción de cada una de ellas, indicando los objetivos de las mismas y las tareas que deben realizar los alumnos.

ACTIVIDAD I - IDEAS PREVIAS SOBRE ENERGÍA

OBJETIVO: Hacer explícitas las ideas de los alumnos, reforzadas tras la discusión con los compañeros.

El profesor preparará unas fichas en que aparezcan cada uno de los conceptos mencionados por sus alumnos junto con un número aproximado de diez frases de las escritas por ellos (resultados que tomará del test *Asociación de palabras*). Los estudiantes, trabajando ahora en equipos, eligen aquellas que más coinciden con sus propios esquemas.

Se completa la actividad con una búsqueda en diccionario de los términos más relevantes para el tema: Energía, Fuerza, Trabajo y Movimiento. Por último, los alumnos contrastan el esquema conceptual de la clase con la información recogida y con la suministrada por el profesor, más cercana a la mantenida actualmente por la comunidad científica.

ACTIVIDAD II - NECESIDAD DE LA ENERGÍA

OBJETIVO: *Hacer reflexionar a los alumnos sobre la necesidad de la energía en dos vertientes distintas: energía para conservarnos vivos y energía para mejorar nuestra vida cotidiana.*

El profesor pide a los alumnos que, tras discutirlo en grupos, escriban dos frases que expliquen para qué necesitamos la energía. Como tarea complementaria tienen que realizar una redacción sobre cómo se desarrollaría un día sin corriente eléctrica, ni gas, ni gasolina, etc.

ACTIVIDAD III - CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA

OBJETIVO: *Cuantificar la energía y analizar el consumo energético.*

A lo largo de esta actividad se potenciará el manejo de tablas de datos, la conversión de unidades y el análisis de gráficos.

El trabajo del alumno se desarrolla en dos vertientes:

1) energía para vivir:

- A partir de las tablas del gasto calórico correspondiente a diversas actividades corporales y del valor energético de diferentes alimentos, los alumnos deben calcular la energía necesaria para mantenerse un día completo y la dieta alimenticia correspondiente a dicha energía.
- Se profundiza sobre cómo obtiene el organismo la energía a partir de los alimentos y se discuten los procesos físicos y químicos de la digestión.

2) energía para mejorar nuestro sistema de vida:

- Utilizando los datos suministrados por los electrodomésticos, cada estudiante determinará algunos consumos energéticos que se producen en su casa a partir de una ficha de trabajo como la que se presenta en la Figura 3.5:

Pasemos a estudiar el consumo energético de nuestra casa. Revisar los electrodomésticos que tenéis en casa (lavadora, aspiradora, fregaplatos, tostador, plancha, radiador eléctrico, etc.). Cada uno de ellos aporta dos datos: El voltaje al que se puede enchufar (220 ó 125 voltios) y la potencia eléctrica que consume (dada en VATIOS(W) o en KILOVATIOS (kW)).

La POTENCIA ELÉCTRICA no es otra cosa que la ENERGÍA UTILIZADA por el aparato en la unidad de tiempo,

$$P = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}} \quad \text{Vatio} = \frac{\text{Julio}}{\text{segundo}}$$

Con los datos obtenidos en casa y esta información sobre la potencia y sus unidades, calcula la energía utilizada por los aparatos que se señalan en las fichas que siguen durante los tiempos señalados.

Lavadora funcionando en un programa de hora y media	Plancha en funcionamiento durante 20 minutos
Afeitado en 5 minutos	Bombilla de 100 W funcionando durante 6 horas

Figura 3.5. Cuantificación de la energía

ACTIVIDAD IV - LA ENERGÍA: SUS FUENTES Y TRANSFORMACIONES

OBJETIVO: Llegar a plantearse el problema de las fuentes de energía a partir del estudio de las transformaciones energéticas.

En esta actividad es muy importante conseguir la integración de los dos dominios de conocimiento (cotidiano y científico).

Tomando como base las transformaciones energéticas que se producen en la digestión de los alimentos y en la utilización de los electrodomésticos estudiadas en la actividad anterior, los alumnos tienen que profundizar en dichos procesos, realizando los diagramas correspondientes, hasta llegar a la fuente primaria de energía. Los estudiantes tienen también que explicar las transformaciones energéticas que se producen en diversas aplicaciones tecnológicas: Centrales solares, calentadores térmicos, fotocélulas, etc. Una ejemplificación de ficha de trabajo correspondiente a esta actividad sería la presentada en la Figura 3.6:

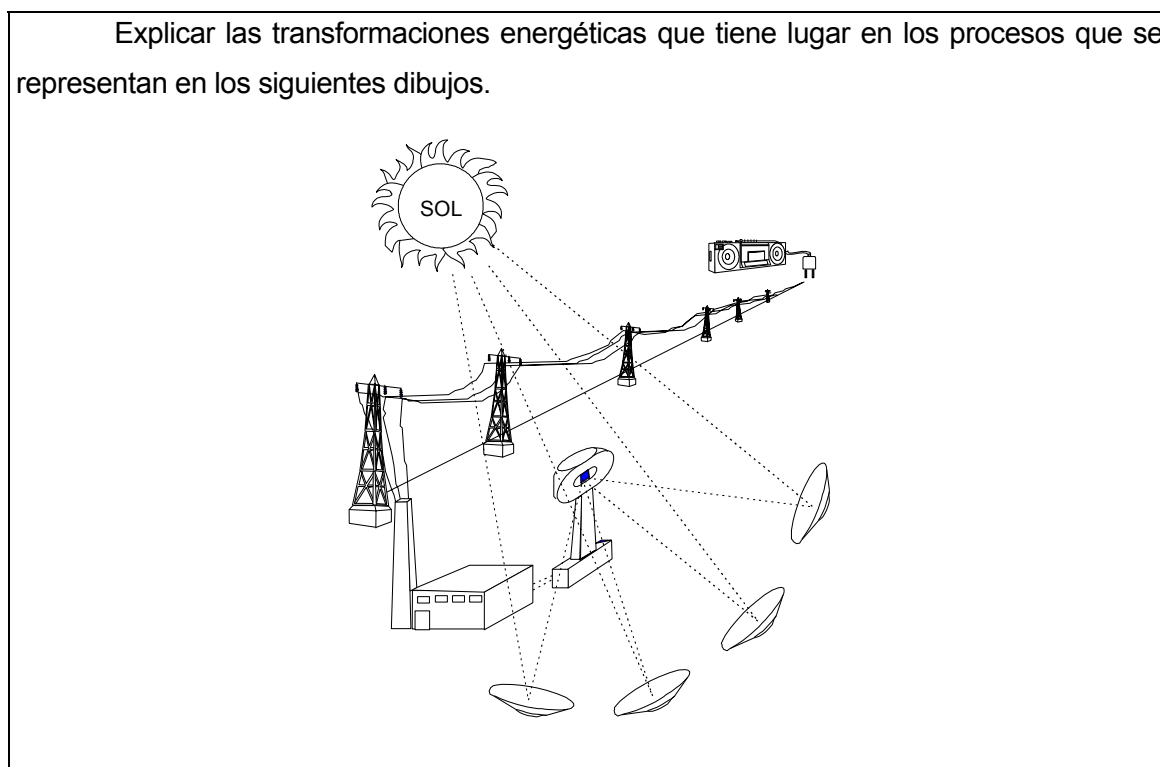
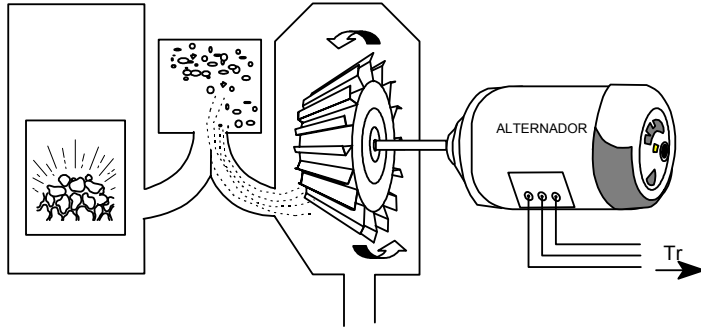


Figura 3.6. Aplicaciones tecnológicas de la energía solar

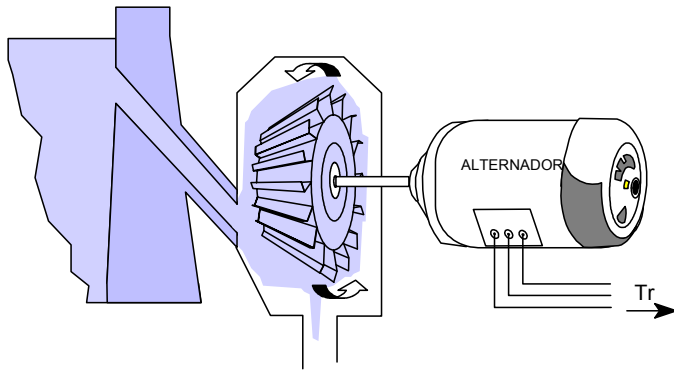
Como tareas complementarias se trabaja:

- Con gráficos relativos a la evolución temporal de las fuentes de energía utilizadas por el hombre
no-renovables -> renovables
y con los conceptos de "ahorro energético" y "crisis energética".
- Utilizando sus propios textos de *Ciencias Naturales*, los grupos preparan una exposición sobre el proceso de la fotosíntesis, presentada a través de diagramas que destaquen las transformaciones energéticas anejas al proceso.
- Cada grupo elige un tipo de central eléctrica y, con la documentación que se cita al final de este apartado, realizan un trabajo monográfico sobre el tema. En una puesta en común posterior, los grupos exponen los puntos clave de su "investigación" a fin de que todos los alumnos adquieran un esquema básico de todos los tipos de centrales existentes.
- Para facilitar la comprensión del funcionamiento de las centrales, los alumnos experimentan en el laboratorio cómo se obtiene energía eléctrica a partir de un prototipo de generador electromagnético.
- Para profundizar, los estudiantes analizan diversos tipos de esquemas en los cuales tienen que identificar tanto los diferentes elementos que componen una central como las transformaciones energéticas que se producen en ellos, tal como se observa en la ficha de trabajo que se muestra en la Figura 3.7.

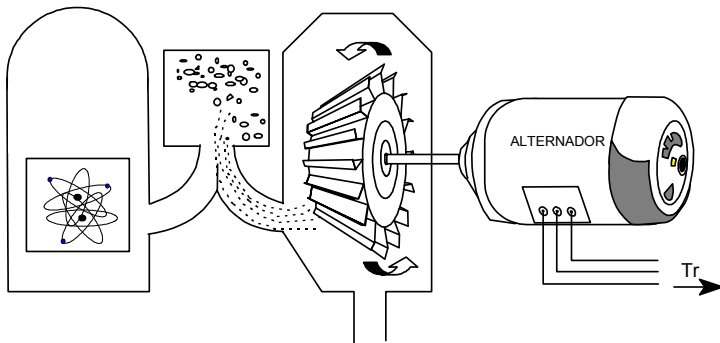
B) Identifica entre los esquemas siguientes el correspondiente a cada tipo de central eléctrica.



Central



Central



Central ...

C) Identifica la energía primaria utilizada en cada uno de los tipos de central eléctrica citados.

D) Elabora una relación de las diferencias y semejanzas que encuentras entre los tres tipos de centrales eléctricas.

E) Enumera los componentes comunes a todas las centrales eléctricas.

Figura 3.7. Análisis de diferentes tipos de centrales eléctricas
ACTIVIDAD V - LA ENERGÍA Y SU CONSERVACIÓN. ENERGÍA ÚTIL

OBJETIVO: *Manejar la conservación de la energía, asumiendo al mismo tiempo el concepto de eficiencia de las transformaciones energéticas.*

En esta actividad se profundizará en la construcción de diagramas cuantitativos tal como se indica en la Figura 3.8.

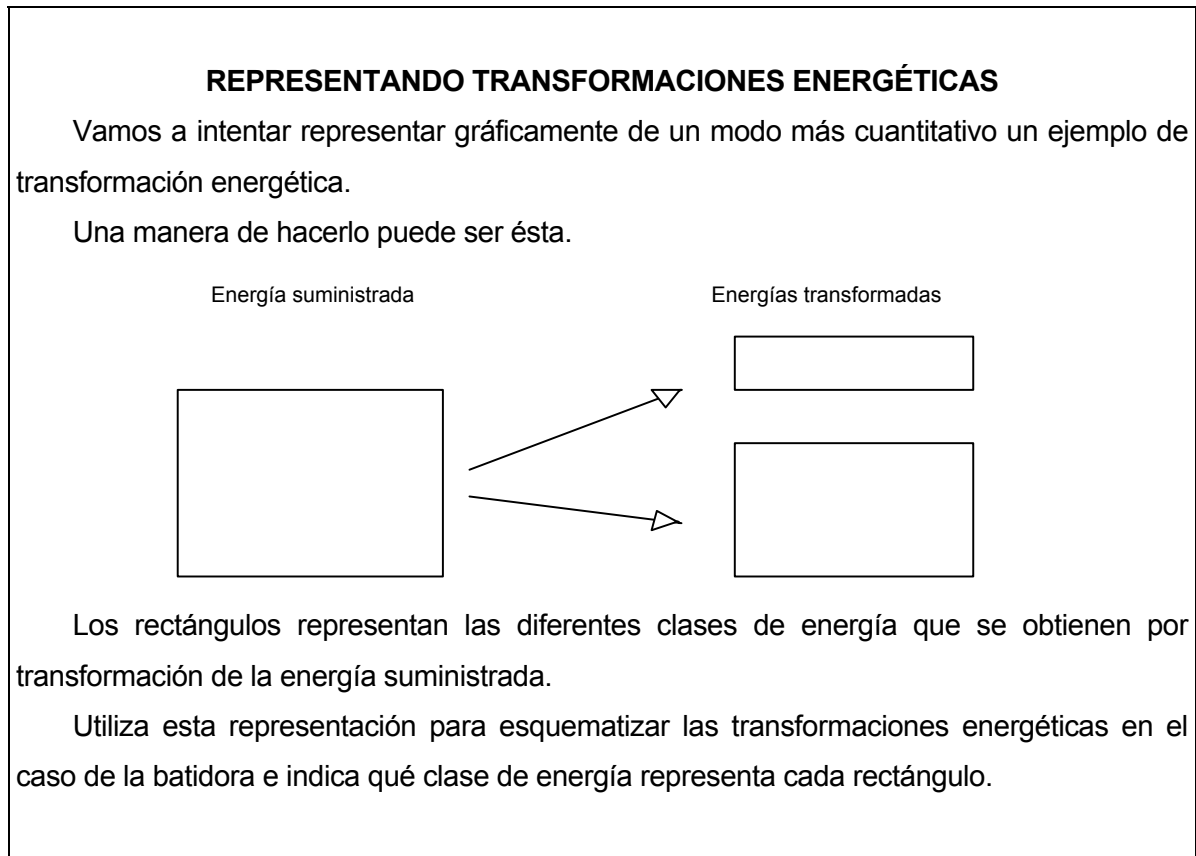


Figura 3.8. Diagrama cuantitativo de las transformaciones energéticas

El trabajo de los alumnos se desarrolla en dos líneas complementarias: a) La conservación de la energía en cualquier tipo de transformaciones y b) la imposibilidad de convertir toda la energía inicial en energía utilizable.

La primera tarea consiste en dibujar diagramas cuantitativos de diferentes transformaciones, indicando **todos** los tipos de energía que aparecen en ellas. En la puesta en común, se insiste en que el diagrama debe visualizar claramente que la suma de las energías finales tiene que ser igual a la suma de las energías iniciales.

Los diagramas realizados pueden usarse para destacar que, de todas las formas de energía que aparecen al final del proceso, solamente una de ellas se va a utilizar para la finalidad deseada.

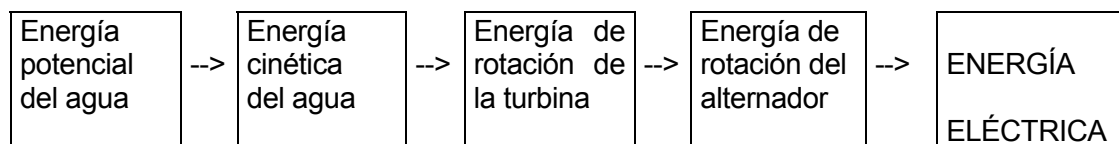
La actividad se termina planteando la pregunta *¿Qué sucede con la energía que no es utilizada?*, que sirve como una primera reflexión sobre la degradación de la energía.

ACTIVIDAD VI - DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA

OBJETIVO: *Asimilar que en toda transformación la ENERGÍA SE CONSERVA pero pierde calidad - SE DEGRADA - al transformarse finalmente en energía térmica.*

Se inicia cuantificando las transformaciones energéticas de una central hidráulica con un esquema como el que aparece en la Figura 3.9.:

Recuerda el esquema energético de la central hidráulica:



Teniendo en cuenta el criterio que hemos seguido para cuantificar la conservación de las transformaciones energéticas, ¿crees que ese esquema energético representa cuantitativamente lo que ocurre en dicha central?.

Representa de un modo aproximado lo que ocurre realmente en las transformaciones anteriores.

Figura 3.9. Esquema energético de una central hidráulica

Se trata de que el alumno se dé cuenta de que, en cada transformación, parte de la Energía inicial se transforma en Energía térmica (del agua, de la turbina, del alternador, del aire, etc.). Por lo tanto, el área del rectángulo correspondiente a la Energía eléctrica obtenida será mucho menor que la del rectángulo correspondiente a la Energía inicial del agua. El rendimiento de una central hidroeléctrica está alrededor del 60%.

Debe destacarse que LA CANTIDAD TOTAL DE ENERGÍA SIGUE SIENDO LA MISMA y recalcar que, en cualquier transformación, parte de la energía inicial se transforma siempre en energía térmica.

Para profundizar en el concepto de degradación, los alumnos trabajan sobre otras transformaciones analizadas anteriormente por ellos: la batidora, el televisor, etc. Como actividades complementarias deben reflexionar sobre las posibilidades de reducir la degradación de la energía y el sentido que tiene el mensaje "ahorrar energía".

Para realizar las actividades la bibliografía utilizada dentro del aula ha sido la descrita a continuación:

ADAE, La bomba de calor.

ADAE, Nuevas tecnologías en la producción de electricidad.

ADAE, ¿Conoces todo lo relacionado con la instalación eléctrica de tu casa?.

ADAE, Seguridad eléctrica y prevención de accidentes.

CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA, El sol, un viejo conocido.

FORUM ATÓMICO ESPAÑOL, El libro de la energía.

FORUM ATÓMICO ESPAÑOL, El cuaderno de la energía.

HIDROELÉCTRICA ESPAÑOLA, Las nuevas energías.

HIDROELÉCTRICA ESPAÑOLA, La energía nuclear.

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, La energía que la Tierra necesita, Noviembre 1990
(Número monográfico).

UNESA, La energía solar. UNESA, La electricidad en España.

UNESA, Centrales eléctricas.

UNESA, Centrales nucleares en el mundo.

UNESA, El desarrollo hidroeléctrico en España.

3.4. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APRENDIZAJE

Vamos a describir los resultados obtenidos en la evaluación de la aplicación en el aula de los materiales anteriormente descritos.

a) *Evaluación del cambio conceptual.*

Se utilizó la técnica del pre-test/post-test, eligiendo para ello la prueba de "Cambio imposible" (Brook y Driver, 1984) descrita anteriormente. Después de realizado el postest se procedió a entrevistar a un grupo de seis alumnos con el fin de profundizar en los razonamientos que habían utilizado en sus contestaciones. Los datos obtenidos se presenta en la Tabla 3.4.

¡Error! Marcador no definido. Categorías	Nº alumnos	Porcentaje
Evolucionan hacia ideas científicas	85	45.2
Inicialmente presentaban ideas científicas	64	34.1
Persisten en ideas alternativas	33	17.5
Respuestas no codificables	6	3.2
TOTAL	188	100

Tabla 3.4. Evaluación del cambio conceptual

El análisis de los resultados nos permite afirmar que el 45% de los alumnos ha experimentado un cambio conceptual positivo. Este dato, unido al 34% que ya inicialmente respondía correctamente, nos da un 79% de estudiantes capaces de detectar el cambio que no se puede producir, explicándolo de forma razonada.

b) *Evaluación del nivel de conocimientos.*

Además de la prueba "*Cambio imposible*", se plantearon preguntas abiertas, en las cuales los alumnos tenían que dibujar un diagrama cuantitativo de las transformaciones energéticas de un determinado proceso y calcular, a partir de su diagrama, el rendimiento del mismo. Los resultados se presentan en la Tabla 3.5.

R_iError! Marcador no definido.espuestas correctas	Nº alumnos	Porcentaje
Diagrama cuantitativo	125	66.5
Rendimiento de la transformación	117	62.2

Tabla 3.5. Evaluación del aprendizaje

Se puede observar que, aproximadamente, las dos terceras partes de los alumnos resolvieron satisfactoriamente toda la tarea. Si comparamos estos resultados con los obtenidos usualmente en nuestros exámenes, podemos considerarlos positivos.

Las respuestas a la prueba utilizada como post-test fueron cuantificadas entre 0 y 10 puntos con el fin de poder adjudicar una puntuación numérica a cada alumno. Los resultados globales son: sobre una muestra de 188 alumnos, 130 de ellos obtuvieron una calificación superior a 5, lo que nos da un 69% de "aprobados", resultado, que como los obtenidos anteriormente, nos resulta alentador.

Al cabo de nueve meses de terminada la experiencia se aplicaron las mismas pruebas para medir la persistencia del cambio conceptual. Los resultados fueron altamente satisfactorios, aunque no se recogen en este trabajo por considerar que la muestra estaba sesgada en sentido positivo debido a las dificultades de seguimiento de aquellos alumnos que no optaron por Física y Química en 3º de BUP.

c) Evaluación del proceso

*Observación sistemática del trabajo realizado por los alumnos y el profesor.
Grabaciones.*

Este tipo de observación a través de un agente externo - en este caso otros miembros del grupo - proporciona datos más objetivos e imparciales para la evaluación. Se construyó un mapa del aula con la situación de los alumnos, centrándose la observación en una serie de puntos tales como: atención, actitud en la clase, trabajo en los equipos, comprensión de los materiales y duración de cada actividad. También se observó el papel que el profesor desempeña en el desarrollo de las actividades.

Paralelamente se recogieron en cintas de audio las discusiones de los equipos, puestas en común, etc. y se grabó en vídeo el desarrollo de algunas de las clases.

El análisis posterior de todos los datos recogidos puso de manifiesto que el grado de participación e interés por parte de los alumnos es más elevado que el observado en "situaciones más estándar".

Cuadernos de clase.

Constituye uno de los instrumentos más valiosos de la evaluación ya que el alumno recoge en él su trabajo diario: material utilizado en clase, actividades desarrolladas y opiniones del grupo sobre dichas actividades, puestas en común y conclusiones de toda la clase, así como todas las actividades que se realizaban en casa.

Prueba actitudinal

Para completar la información obtenida con la evaluación externa se realizó una prueba de lápiz y papel, construida a partir de un diferencial semántico y

ampliada con entrevistas a una pequeña muestra de alumnos. Los resultados confirman nuestra hipótesis inicial de que unos materiales y una aplicación en el aula que cumpliera los requisitos descritos tendrían una respuesta positiva por parte de los alumnos. El porcentaje de éstos que se encuentra en el extremo más positivo del diferencial semántico aplicado para cada una de las preguntas, oscila entre un 62% (metodología del trabajo en clase) y un 81% (implicaciones que tiene lo aprendido en el aula en las vivencias de los estudiantes fuera de ella). Estos valores son muy superiores a los obtenidos en pruebas similares realizadas con alumnos inmersos en modelos de enseñanza expositivos. El extremo más negativo de los diferenciales planteados no es escogido nunca por más del 19% de los encuestados y, del análisis de las contestaciones vertidas en las entrevistas, parece deducirse que estos alumnos prefieren utilizar los materiales didácticos como aplicaciones prácticas del tema tratado en forma tradicional.

Capítulo 4

LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y LA ENERGÍA TÉRMICA

Del mismo modo que en el capítulo anterior se ha presentado una reseña de la Unidad de Introducción a la Energía, en este capítulo vamos a presentar de un modo mucho más breve el resumen del diseño de los materiales correspondientes a la Energía Eléctrica y Térmica.

Para una descripción detallada de esta Unidad se puede consultar el libro *Iniciación a la Física en el marco de la teoría constructivista* (Varela et al., 1993) donde aparece el estudio de las ideas previas en estos campos, una amplia reseña de las actividades realizadas en cada una de las temáticas abordadas, la evaluación del cambio conceptual, del nivel de conocimientos alcanzado por los alumnos y del proceso de enseñanza.

4.1. ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1.1. Justificación teórica

El Principio de la Conservación de la Energía se utiliza como guía aplicándolo a diferentes situaciones. En este sentido, la pila química y el generador electromagnético son considerados sistemas que transforman la energía química o mecánica en eléctrica mientras que el resto de los sistemas (bombillas, resistores, motores eléctricos) transforman energía eléctrica en otras formas de energía.

Por otro lado, el planteamiento de esta unidad permite a los alumnos estudiar situaciones familiares con amplias implicaciones tecnológicas y, en consecuencia, la mayoría de las actividades resultan altamente motivadoras (Oldham et al., 1986; Solomon et al., 1987).

El desarrollo conceptual de esta Unidad responde a las siguientes ideas básicas:

- Iniciar el tema estudiando de modo cualitativo las transformaciones de la energía y su conservación para encauzar, dentro del punto de vista científico, la idea de los alumnos de que algo se "gasta" en un circuito (Osborne, 1981).
- Introducir el concepto de intensidad de corriente eléctrica como una explicación del modo en que se transporta la energía (Härtel, 1982), aprovechando este planteamiento energético para definir el concepto de voltaje como la energía transformada en cada receptor por unidad de carga (Shipstone, 1984).
- Estudiar el circuito como un sistema, en el que la modificación de cualquiera de sus elementos afecta a todo el circuito (Closset, 1983).

4.1.2. Diseño de los materiales didácticos

De acuerdo con la justificación aportada, la Unidad Didáctica se presenta dividida en ocho actividades:

- I - Energía eléctrica: Fuentes y transformaciones.
- II - ¿Cómo se reparte la energía en un circuito?
- III - ¿Quién transporta la energía en un circuito?
- IV - Modelos de corriente. Intensidad.
- V - ¿Qué significa voltaje o diferencia de potencial?
- VI - ¿De qué depende la intensidad de la corriente eléctrica a través de un conductor metálico?.

VII - Aplicación a circuitos en serie y en paralelo.

VIII - La electricidad en nuestro mundo cotidiano.

Todas las actividades se componen de *tareas de iniciación*, en las cuales el alumno tiene que predecir sobre el comportamiento de los diferentes circuitos eléctricos para, a continuación, realizar los montajes correspondientes y "enfrentar" sus ideas con los resultados de la experimentación, sacando las conclusiones oportunas (*tareas de reestructuración*). Por último, se realizan *tareas de aplicación* de las ideas adquiridas a nuevas situaciones.

A continuación se presentan las tres actividades que sirven de puente de unión con la Unidad de la Energía que hemos descrito en el capítulo anterior.

ACTIVIDAD I - ENERGÍA ELÉCTRICA: FUENTES Y TRANSFORMACIONES

Se inicia volviendo a revisar las diversas transformaciones energéticas que se producen en las centrales eléctricas. Se tratan de nuevo los fenómenos de inducción electromagnética para analizar el funcionamiento de un generador, introduciendo a nivel cualitativo los efectos magnéticos de la corriente.

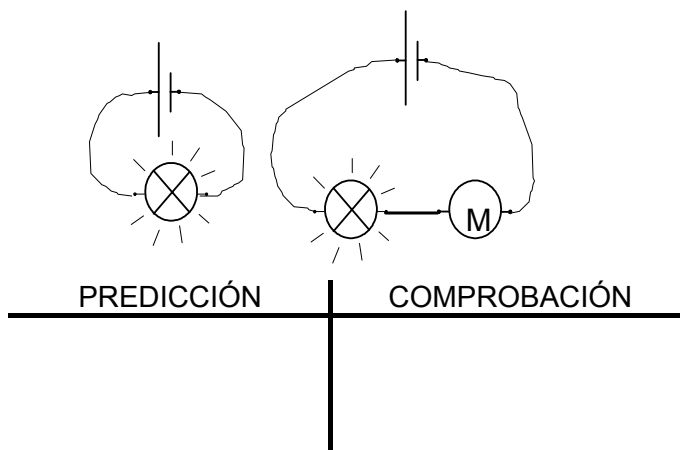
Mediante circuitos simples (pilas, bombillas, motores, etc.) se analizan las transformaciones de energía producidas, llegando a ver el cambio de energía eléctrica en energía química en la electrólisis. Se comprueba que los procesos que tienen lugar en la pila y en las electrólisis corresponden a transformaciones energéticas inversas y se relaciona el tema con los balances energéticos en reacciones químicas.

ACTIVIDAD II - ¿CÓMO SE REPARTE LA ENERGÍA EN UN CIRCUITO?

Se trata de aclarar que la energía eléctrica proporcionada por la pila se va transformando en otras formas de energía en los diferentes elementos que constituyen el circuito, con la finalidad de aprovechar la idea que tienen los alumnos de que algo "se gasta" en un circuito. Estos razonamientos suponen un paso previo para introducir la constancia de la corriente eléctrica.

La actividad comienza prediciendo lo que ocurrirá con el brillo de una bombilla si en el circuito se introducen otros elementos, a través de una ficha como la mostrada en la Figura 4.1.

En los siguientes circuitos la pila es la misma, ¿crees que habrá alguna diferencia entre ellos?



- Vamos a utilizar un aparato de medida llamado voltímetro que se conecta a los extremos de los elementos del circuito en los que queremos medir.
- Conéctalo a los extremos del motor, de la bombilla y de la pila de tu circuito, consecutivamente, y anota las lecturas de cada uno de los elementos, y cualquier otra observación que se te ocurra.
- ¿Qué relación hay entre las tres lecturas del voltímetro?
- ¿Cómo explicarías desde el punto de vista energético esta relación?

Figura 4.1. Conservación de la energía en un circuito eléctrico

No se habla de diferencia de potencial en su sentido físico, sino que se utiliza el voltímetro como una caja negra que permite medir, de alguna manera, la energía que recibe cada receptor del circuito y aproximarse así al Principio de Conservación de la Energía.

ACTIVIDAD III - ¿QUIÉN TRANSPORTA LA ENERGÍA EN UN CIRCUITO?

Al introducir en un circuito materiales diversos, se comprueba que algunos dejan pasar la corriente y otros no, llegando al concepto de conductores y no conductores. Los conocimientos de Química que poseen los estudiantes les permiten comprender que, en los metales, los electrones en movimiento transportan la energía y en las disoluciones o en los gases, tiene que haber también partículas cargadas libres. Con tubos de gas y un carrete de Rhumkorff se puede mostrar cómo los gases, en condiciones muy especiales, pueden conducir la corriente.

4.1.3. Evaluación del cambio conceptual

En esta Unidad se han escogido para la evaluación los esquemas conceptuales relacionados con el principio de conservación de la energía que se consideran más relevantes para los alumnos de las edades que se están investigando:

- Conservación de la corriente eléctrica en los circuitos. El esquema alternativo más importante detectado en el pre-test es la idea de que la corriente eléctrica se "*va gastando*" a medida que va atravesando los diferentes elementos que constituyen el circuito.
- Concepto de voltaje. Existe una confusión corriente/voltaje, siendo la idea más frecuente en los alumnos que el voltaje es una "*consecuencia de que la corriente circule y no su causa*".

- Conservación de la energía. Para los alumnos de Secundaria, la pila es un "*almacén de corriente*" que se va a ir gastando a lo largo del circuito.

Los resultados obtenidos señalan que, en cuanto a la constancia de la corriente eléctrica, se ha producido un cambio significativo (mayor del 50%). La mejora en lo relativo a la diferenciación intensidad de corriente/voltaje es considerablemente inferior. Por ello puede concluirse, coincidiendo con afirmaciones de otras investigaciones, que el desarrollo del concepto de voltaje es un problema complejo para alumnos de estas edades (Jung, 1985; Rhoneck, 1985 y Varela et al., 1988).

El análisis de los datos correspondientes a la conservación de la energía muestran que un porcentaje del 89% presenta en el post-test una idea correcta sobre la aplicación del principio de conservación a los circuitos eléctricos. Este resultado es sensiblemente superior a los obtenidos con muestras estándar españolas donde el porcentaje de alumnos que presentan ideas alternativas al respecto ha sido del orden del 40%.

4.2. ENERGÍA TÉRMICA

4.2.1. justificación teórica

El desarrollo conceptual de esta Unidad responde a las siguientes ideas básicas:

- Aplicar el principio de Conservación de la Energía a un sistema aislado para establecer el concepto de Energía interna como una magnitud de tipo microscópico de la cual solo pueden observarse sus variaciones a través de las variaciones de temperatura.
- Establecer la diferenciación entre Temperatura y Energía interna a partir del estudio de los cambios de estado, procesos en los que se suministra Energía al sistema y no se observa variación de su temperatura.

- Diferenciar los conceptos científicos de Calor y Energía interna mediante la introducción del Calor como un proceso de transferencia de Energía entre dos sistemas a diferente temperatura por el cual estos pueden variar su Energía interna (Fernández Uría, 1986).

4.2.2. Diseño de los materiales

De acuerdo con la justificación teórica aportada, la Unidad Didáctica se desarrolla en seis actividades:

- I - Equilibrio térmico.
- II - Energía interna.
- III - ¿Qué variables influyen en la variación de la Energía interna?.
- IV - ¿Siempre que varía la Energía interna varía la Temperatura?.
- V - ¿A qué se llama Calor en Física?.
- VI - Ampliación del estudio sobre calidad de la energía.

De nuevo se presentan las actividades que sirven de puente de unión con la Unidad de Introducción a la Energía (Capítulo 3) a fin de que el lector pueda comprobar la coherencia interna de los materiales diseñados.

ACTIVIDAD II - ENERGÍA INTERNA

Para introducir este concepto se plantean diferentes formas de suministrar energía a un vaso con agua y que tienen como consecuencia un incremento de la temperatura de ésta. El principio de conservación de la energía aplicado a estos procesos sirve de puente para definir el concepto de energía interna.

Estos procesos se trabajan a partir de diagramas análogos a los utilizados en la Unidad de Introducción a la Energía. Un ejemplo de diagrama construido por los alumnos para el calentamiento del vaso con agua mediante una resistencia eléctrica se muestra en la Figura 4.2.

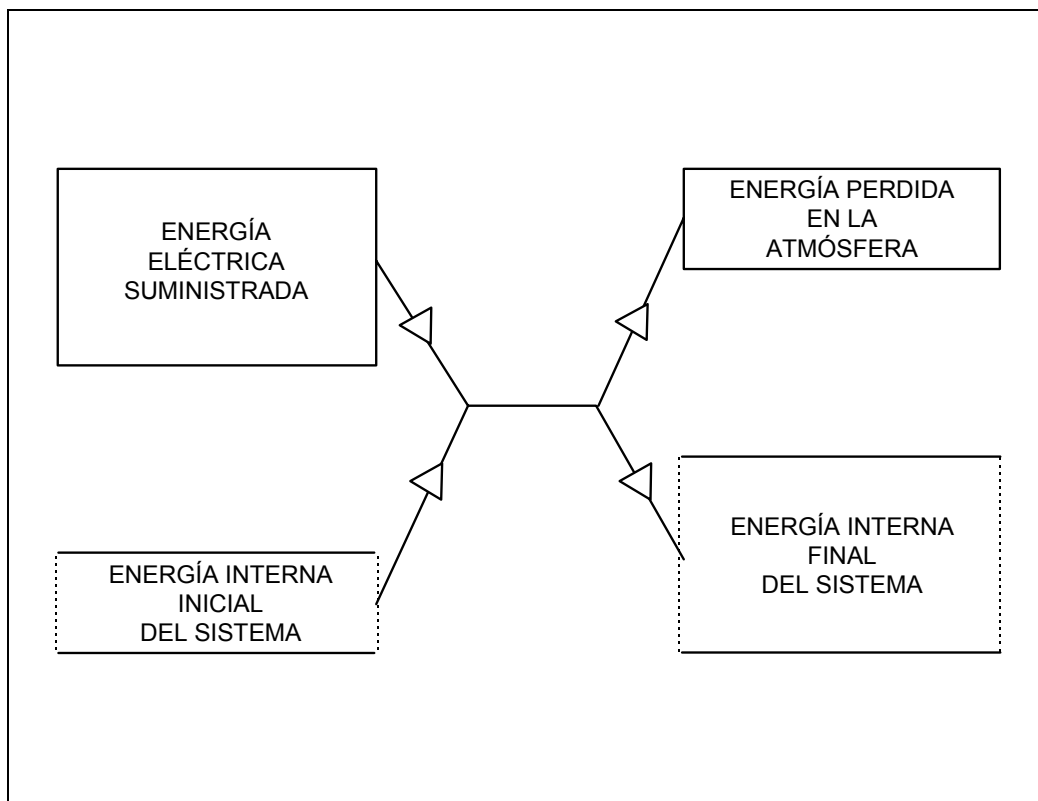


Figura 4.2. Diagrama de transformación de la Energía

Los rectángulos que representan la energía interna inicial y final del sistema se representan siempre con trazos discontinuos debido a que no es posible conocer su valor sino que solamente se pueden determinar sus variaciones a partir de los cambios de temperatura.

ACTIVIDAD IV - ¿SIEMPRE QUE VARIA LA ENERGÍA INTERNA VARIA LA TEMPERATURA?

Los cambios de estado se introducen como procesos en que se suministra energía - por tanto varía la energía interna - pero no aumenta la temperatura. De esta forma se destacan las diferentes características de las dos magnitudes físicas.

ACTIVIDAD V - ¿A QUÉ SE LLAMA CALOR EN FÍSICA?

Tal como se ha señalado en la justificación teórica, es preciso insistir en el concepto de calor como un proceso de transferencia de energía entre sistemas a causa de una diferencia de temperaturas. Para llegar a esta idea se parte de los diagramas construidos en la Actividad II en que un sistema ha aumentado su temperatura - y por tanto su energía interna - al entrar en contacto con otro sistema cuya temperatura es más elevada.

Los problemas tradicionales de calcular la temperatura de equilibrio de dos sustancias a temperaturas diferentes se enfocan a partir de la idea central de que los cuerpos NO tienen "calor", sino que poseen energía interna. Por ello, los alumnos utilizan la expresión

<i>Disminución E. interna de una sustancia = Aumento E. interna de la otra</i>

VI - AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO SOBRE CALIDAD DE LA ENERGÍA

Como se ha señalado en la Unidad de Introducción a la Energía, un objetivo fundamental de los materiales que hemos diseñado es conseguir que el alumno asimile el concepto de Degradación de la Energía y supere la contradicción aparente entre conservación de la Energía y crisis energética. Por esta razón, esta actividad profundiza en las transferencias energéticas planteadas en la citada Introducción y las extiende a nuevas situaciones tales como las máquinas térmicas, donde se puede transformar energía térmica - "de baja calidad" - en otros tipos de energía pero con rendimiento inferior al de los procesos inversos. Un ejemplo de ficha de trabajo se presenta en la Figura 4.3.

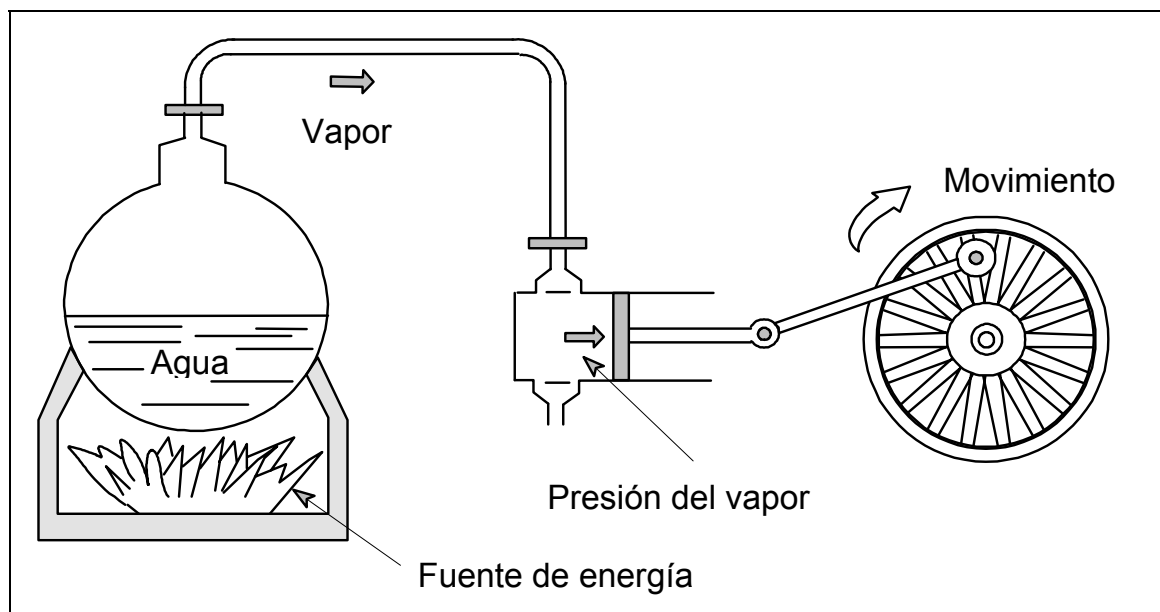


Figura 4.3. Máquina de vapor

Esta transformación de la energía térmica en energía cinética de rotación de la rueda motriz, sirve de puente para enlazar con el bloque temático de la *Energía Mecánica* que se inicia con el estudio de la energía potencial gravitatoria y la energía cinética, para continuar con el estudio del movimiento de los cuerpos.

4.2.3. Evaluación del cambio conceptual

Los esquemas conceptuales elegidos para la evaluación del aprendizaje en este área han sido:

- Asimilación del carácter intensivo de la temperatura frente al carácter extensivo de la energía, cuestión clave para evitar los errores conceptuales entre calor y temperatura tan frecuentes en los alumnos de Secundaria (Juncos y Pérez de Landazábal et al., 1989).
- Equilibrio térmico. El pre-test pone en evidencia la dificultad de los alumnos para reconocer la igualdad de temperaturas entre objetos en contacto prolongado ("*hay sustancias más frías que otras*"); además la conducción calorífica se comprende

mejor cuando se explica una sensación de calor que cuando se trata de la sensación de frío ("*transferencia de frío*") (Brook et al., 1984).

- Cambios de estado. Algunos alumnos encuentran difícil comprender que los puntos de fusión y ebullición son independientes del ritmo de calentamiento y muy pocos explican estos cambios en términos de partículas.

Los resultados obtenidos en el post-test muestran mejoras significativas (próximas al 50%) en la conceptualización del calor y la temperatura, así como en la constancia de la temperatura durante los cambios de estado. En lo que respecta al equilibrio térmico, el elevado número de respuestas alternativas, (del orden del 44%), indica la gran dificultad que tiene dicho concepto para los alumnos debido a su incapacidad de diferenciar el concepto físico de temperatura de su sensación perceptiva. Incluso en situaciones de cambio de estado, hay cierta tendencia a pensar en la existencia de una temperatura máxima para cada material y que depende, pero no coincide con la temperatura de la "fuente de calor".

Como comentario final queremos indicar que los materiales diseñados y la metodología de trabajo en el aula no parecen ser suficientes para conseguir el cambio conceptual deseado en la totalidad de los alumnos. Este hecho pone de manifiesto la extraordinaria complejidad del proceso de aprendizaje así como la diversidad de origen de las variables que intervienen y la necesidad de un análisis detallado de las causas por las cuales aparecen conceptos tan difícilmente modificables.

TERCERA PARTE

LA ENERGÍA MECÁNICA

Capítulo 5

ESQUEMAS CONCEPTUALES EN EL CAMPO DE LA ENERGÍA MECÁNICA

5.1. ESQUEMAS ALTERNATIVOS MÁS RELEVANTES EN ESTE CAMPO: ESTUDIO TEÓRICO

El área de la Mecánica, especialmente la Dinámica, presentan el mayor número de investigaciones sobre las ideas previas de los estudiantes debido a su importancia dentro del currículo escolar.

Diversos autores han señalado la similitud entre estos esquemas conceptuales alternativos y las ideas Aristotélicas o Pre-Galileanas, aunque ya se han alzado voces destacando la validez limitada de ese paralelismo y, sobre todo, la escasa utilidad del mismo en el diseño de estrategias efectivas de enseñanza (Saltiel y Viennot, 1985).

Otra visión del tema surge desde la perspectiva de la Psicología Cognitiva. Así, J.I. Pozo en su libro *“Aprendizaje de la Ciencia y pensamiento causal”* (1987) analiza la consistencia interna de las ideas alternativas más comunes en el campo de la Mecánica y explica como adquieren coherencia dentro del marco de las teorías causales.

A continuación se resume la bibliografía relativa a los esquemas alternativos más relevantes para nuestra investigación.

5.1.1. Energía mecánica

De acuerdo con el enfoque general de nuestro trabajo, el estudio de la Mecánica, se realiza a partir de la aplicación del principio de conservación de la Energía en procesos mecánicos y, como ya se ha señalado, numerosas investigaciones indican que los estudiantes no ven la necesidad de utilizar la conservación de la energía (Duit, 1981, 1984; Driver y Warrington, 1985; Black y Solomon, 1983; Solomon, 1985).

Duit (1981) realizó una investigación con 84 estudiantes alemanes de 12 a 14 años sobre la utilización del Principio de Conservación para resolver problemas relacionados con la energía mecánica. Los resultados fueron desalentadores: sólo el 2% usaba las ideas sobre la transferencia de la energía y ninguno de los estudiantes aplicaba este Principio en la contestación a las cuestiones planteadas. Estos resultados se vieron corroborados en una investigación posterior (1983) con una muestra de 171 estudiantes alemanes de 15 a 16 años a los que se planteaba cuál sería la altura o la velocidad alcanzada por bolas que siguen trayectorias como las mostradas en la Figura 5.1.

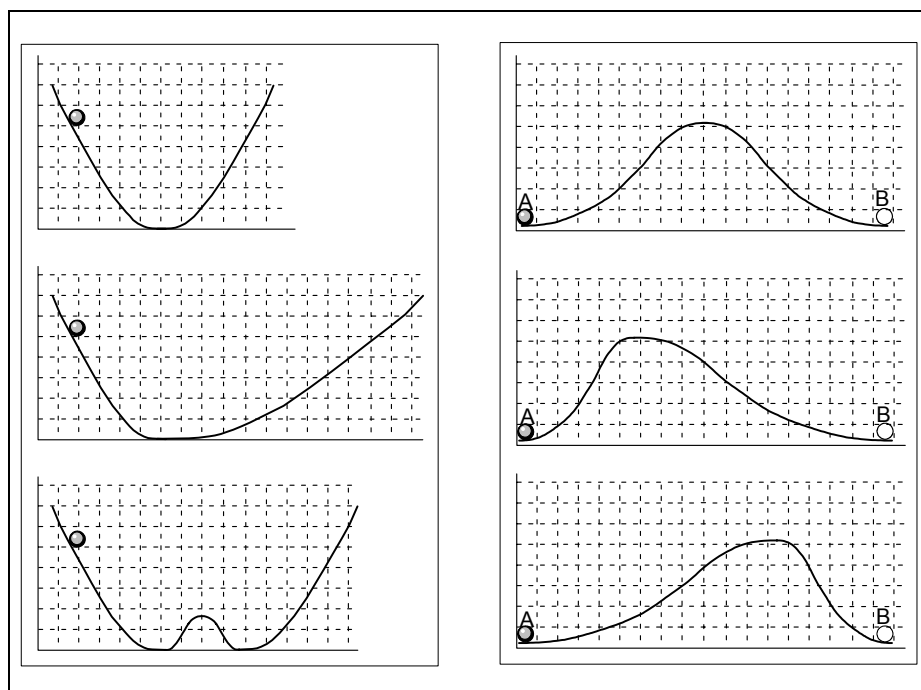


Figura 5.1. Conservación de la Energía Mecánica (Duit, 1983)

Los resultados de la prueba muestran que entre un 35 % - 17 % de los estudiantes utilizan el término energía para explicar sus predicciones y un porcentaje todavía menor (26 % - 9 %) utilizan el principio de conservación de la energía. Según el autor, la mayor parte de las explicaciones dadas se basan en la geometría de la trayectoria. En este estudio, como también indica J.I. Pozo (1987) en su libro, los alumnos buscan una causa directa que explique el proceso y muy pocos se refieren a la relación que puede existir entre los estados inicial y final. Utilizan, además, el lenguaje sacado de la vida cotidiana como "*impulso de la bola*", "*fuerza de la bola*".

En otro estudio, Driver y Warrington (1985) entrevistaron a un grupo de chicos de edades comprendidas entre 13 y 18 años, todos ellos con instrucción previa sobre energía. Se les pidió que resolvieran problemas numéricos y prácticos sobre sistemas simples (polea, palanca, etc.) y de nuevo pocos estudiantes emplearon la Conservación de la Energía en sus explicaciones.

Brook y Driver (1984), en el marco del Proyecto CLIS de la Universidad de Leeds diseñaron una prueba ("*El camión de Micky*") cuyo objetivo es explorar si los alumnos tienen asimilada la idea de energía acumulada (potencial) o si, por el contrario, asocian energía a movimiento. La contestación correcta requiere una comprensión de la conservación y degradación de la energía, puesto que los alumnos tienen que entender que, cuando se le da cuerda al camión, éste gana energía que después "*decrece*" durante el movimiento, como consecuencia del rozamiento, hasta que al final se para. Esta cuestión ha sido aplicada por nosotros en trabajos anteriores (Favieres et al, 1989) a una muestra de 290 alumnos de 2º de BUP. Aunque un alto porcentaje de alumnos (59%) elige la opción verdadera (razonando además en términos correctos de energía), la idea alternativa de energía asociada a movimiento se manifiesta tanto entre los que escogen esta opción como entre aquellos que eligen la opción correcta, pero razonan de manera equivocada (un 16% en total). Del análisis de los resultados parece deducirse que el concepto de energía potencial está más lejos de la mentalidad del alumno que el de energía cinética.

Por último, Lawson y McDermott (1986) en un trabajo con estudiantes de 1º de Facultad que requería la aplicación del teorema trabajo - energía a una situación real, encontraron que los alumnos, incluso los que resolvían con éxito problemas teóricos sofisticados, no eran capaces de realizar dicha aplicación en un caso real que implicaba un movimiento rectilíneo bajo la acción de una fuerza constante.

En resumen:

- En lo relativo a la energía mecánica, las investigaciones señalan que los alumnos no ven la necesidad de emplear el principio de conservación de la energía, a menos que se les indique expresamente.
- El concepto de energía va asociado fundamentalmente a la idea de movimiento. Existe cierta imposibilidad en reconocer la existencia de energía potencial.

5.1.2. Fuerza, Trabajo y Energía

Watts (1980), en sus entrevistas sobre ejemplos con estudiantes de 12 a 18 años, encuentra una clara indiscriminación en el uso de los términos fuerza, energía y potencia: La energía se considera como la consecuencia de fuerzas que actúan sobre algo o como algo que genera fuerza, de modo que si se agota la fuente de energía, la fuerza también lo hace.

Duit (1983) destaca también la gran relación que existe entre fuerza y energía, pero señala que dichas palabras no tienen el mismo significado para los alumnos, porque al pedirles que escriban asociaciones con la palabra fuerza las respuestas más frecuentes son actividades físicas, resistencia o vigor físico (levantadores de pesos, elefantes), aparatos técnicos, pero no energía.

Los resultados con estudiantes que han seguido 4 cursos de física no son muy diferentes ya que, salvando las conexiones con formas de energía aprendidas en la enseñanza, las estructuras generales son las mismas.

En investigaciones anteriores (Varela et al., 1993) se ha aplicado una prueba de asociación de palabras que exigía escribir una frase que justificase la relación entre la energía y las palabras asociadas. Los resultados con un muestra de 212 estudiantes de 2º de BUP, manifiesta la fuerte relación de la energía con los términos fuerza, trabajo y movimiento, pues el 52,3% de los alumnos elige entre estas tres opciones las dos palabras que más asocian con energía. Del análisis de las frases se desprende una gran confusión (42 % de las frases) entre fuerza y energía, entre los que destaca:

- Identificación de fuerza y energía (10,9 %)
- Fuerza como consecuencia de la energía (11,9 %).
- Fuerza como productora de energía (10,9 %).

Bliss, Morrison y Ogborn (1988) encuentran que más del 45 % de los alumnos de Enseñanza Secundaria no son capaces de aplicar la definición física de Energía y Trabajo en una tarea que requiere evaluar la cantidad de energía necesaria para subir un peso por rampas de diferentes pendientes. Consideran que el trabajo realizado es menor cuando el esfuerzo físico es menor (pendiente menor), despreciando la distancia recorrida en la rampa.

Hierrezuelo y Montero (1988) utilizan una prueba semejante para comparar el cambio conceptual entre grupos de 2º de BUP que siguen diferentes métodos de enseñanza (descubrimiento orientado con atención especial a las ideas previas y expositiva tradicional), encontrando diferencias significativas favorables al grupo experimental. Un 36 % de los alumnos de enseñanza expositiva muestran la misma confusión entre fuerza (en el sentido de esfuerzo físico) y energía encontrada por los autores anteriores.

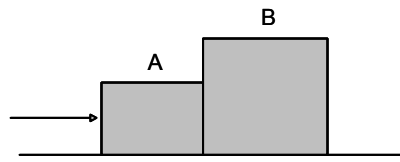
5.1.3. Fuerza como interacción

El concepto de fuerza comienza a desarrollarse a partir de sensaciones relacionadas con el esfuerzo físico, por lo cual presenta un carácter fuertemente animista en edades tempranas, que parece disminuir sensiblemente con la edad (Piaget, 1929). En la misma línea Osborne y Gilbert (1980) investigaron el grado de comprensión del concepto de fuerza en alumnos entre 7 y 19 años, encontrando que el alumno subraya el lado humano de las situaciones como algo básico y fundamental. Watts (1980) en estudios similares concluye que los estudiantes consideran las fuerzas como “algo” característico de los objetos.

Podemos concluir que el término **fuerza** es muy conocido por los alumnos, pero con unos significados que no coinciden, en la mayoría de los casos, con los asignados por la Ciencia. Para ellos las fuerzas “verdaderas” son las fuerzas de contacto, en las que unos cuerpos “empujan” o “tiran” de otros. Aparece aquí la gran dificultad: Los físicos consideran que la **fuerza es la medida de la interacción entre dos cuerpos, pudiéndose producir esta interacción a distancia**. Añadamos a esto el carácter simétrico que presentan las interacciones de acuerdo con la tercera ley de Newton: **cuando dos cuerpos interactúan las fuerzas que aparecen sobre ellos son del mismo módulo, la misma dirección y sentido contrario**.

Maloney (1984) investigó la comprensión de la tercera ley de Newton por estudiantes que ya habían recibido instrucción sobre la misma mediante una prueba que planteaba la interacción entre dos bloques en contacto en situaciones diferentes (Figura 5.2). Sus resultados muestran que los alumnos utilizan básicamente la masa para decidir el valor de la fuerza ejercida por un bloque sobre el otro, independientemente del estado de movimiento; al ir avanzando en los estudios, los alumnos mantienen esta idea únicamente en el caso del movimiento acelerado.

Dados los bloques A y B:



¿Cómo es la fuerza que A ejerce sobre B comparada con la que B ejerce sobre A?

Aplicarlo en las situaciones siguientes:

- a) Los bloques están en reposo.
- b) Los bloques se mueven con velocidad uniforme.
- c) Los bloques se mueven con aceleración

En cada uno de los tres casos estudiar las posibilidades siguientes:

Masa bloque A = Masa bloque B

Masa bloque A \neq Masa bloque B

Considerar también las dos posibilidades de que el bloque A empuje al B o que el bloque A tire del B.

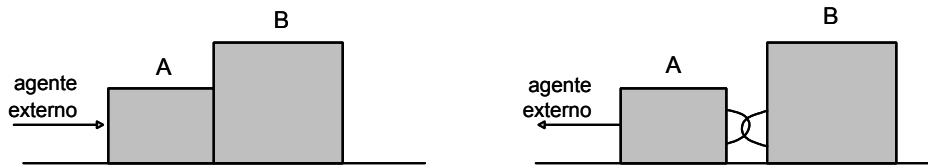


Figura 5.2. Tercera ley de Newton (Maloney, 1984)

Terry y Jones (1986) encuentran resultados análogos con alumnos que han completado un curso básico de Física: Los alumnos no son capaces de identificar la fuerza que sufre la Tierra ni en situaciones estáticas (persona de pie) ni en situaciones dinámicas (piedra que cae). En otro tipo de interacciones (personas tirando de una cuerda, choques) relacionan, de nuevo, la magnitud de la fuerza ejercida con la masa del cuerpo. Esta comprensión errónea de la tercera ley de Newton dificulta la comprensión de la segunda ley de la Dinámica. Warren (1971) propone evitar el enunciado de la tercera ley como “*acción y reacción son opuestas*”, porque sugiere una secuenciación temporal y hace pensar que ambas actúan sobre el mismo cuerpo, de modo que propicia la asociación de esta situación con la de equilibrio. Según este autor, la tercera ley debe verse como fundamental en la

comprensión total del concepto de fuerza y no enseñarse separadamente de las otras leyes.

Hierrezuelo y Montero (1988) han estudiado también la comprensión de estos conceptos en diferentes interacciones (eléctricas, magnéticas y gravitatorias) por alumnos españoles de BUP y COU encontrando que *“la fuerza es algo poseído por los cuerpos y que estos pueden ejercer, hecho que depende únicamente del cuerpo que la ejerce y no de la interacción mutua”*. En otra prueba, vuelven a encontrar que los alumnos consideran de forma diferente las aplicaciones de la tercera ley de Newton a situaciones en reposo y en movimiento.

Todas estas dificultades arrancan de la confusión entre las fuerzas y sus efectos. Cuando los efectos experimentados por cada uno de los cuerpos son muy diferentes, los alumnos interpretan que es debido a una desigualdad de las causas: las fuerzas. De nuevo nos volvemos a encontrar la influencia del pensamiento causal en el aprendizaje de los alumnos que, al fijarse únicamente en los rasgos más evidentemente perceptibles de los fenómenos estudiados, establecen una relación errónea causa - efecto.

5.1.4. Caída de graves

La idea espontánea más generalizada y resistente al cambio respecto a la caída de graves es que los cuerpos más pesados caen más deprisa que los más ligeros. Champagne et al. (1980) encontraron que un 80 % de los alumnos de Física introductoria a la Universidad mantienen todavía esta idea contraria a la Física newtoniana.

Gil et al. (1991) han realizado un estudio transversal sobre este concepto, encontrando que los alumnos consideran que los cuerpos cuando caen *“al tener doble peso deben tener doble velocidad”*. Análogamente han encontrado que para los alumnos la masa influye de forma inversamente proporcional en la altura ascendida por cuerpos que se lanzan verticalmente hacia arriba. Otros estudios

realizados con alumnos españoles (Carrascosa, 1987; Pozo, 1987; Acevedo, 1989) llegan a resultados similares.

Otra idea alternativa encontrada por los investigadores (Champagne et al., 1980; Gunstone y White, 1981) es que, ante la observación de dos cuerpos de igual masa suspendidos a diferentes altura mediante una polea, asignaron un peso mayor al que estaba más bajo (Figura 5.3).

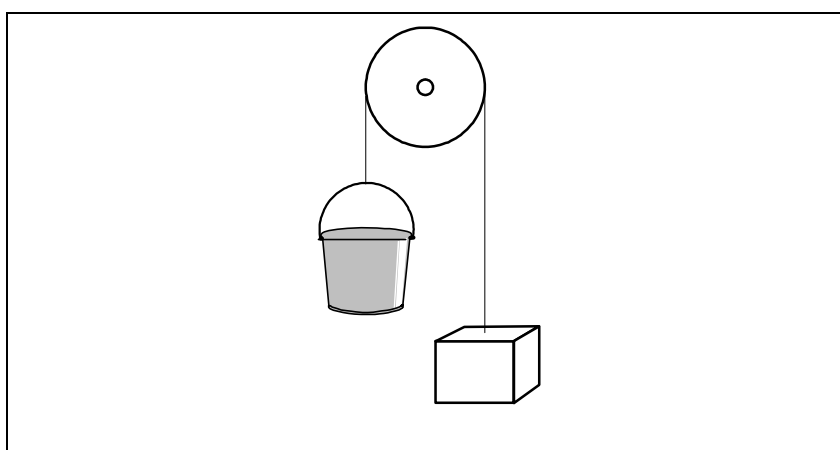


Figura 5.3. Comparación de pesos (Gunstone y White, 1981)

Ruggiero et al. (1985) realizaron entrevistas a 22 alumnos entre 12-13 años, encontrando tres esquemas para el concepto de gravedad: A - La fuerza de gravedad actúa sobre el peso de los cuerpos provocando su caída. El peso es una propiedad intrínseca de los cuerpos (lo cual puede coincidir con el concepto científico de masa). B - La fuerza de la gravedad y el peso son causas independientes de la caída de los objetos. El aire puede ser responsable de uno de ellos (o de ambos). C - Son tres fenómenos independientes: La gravedad explica el equilibrio; el peso es una medida de los cuerpos y la caída se debe a un movimiento natural o a la ausencia de un soporte. Sus resultados señalan que el aire tiene un papel importante en la fenomenología de la gravedad para los estudiantes y es necesario tenerlo en cuenta para el proceso de enseñanza.

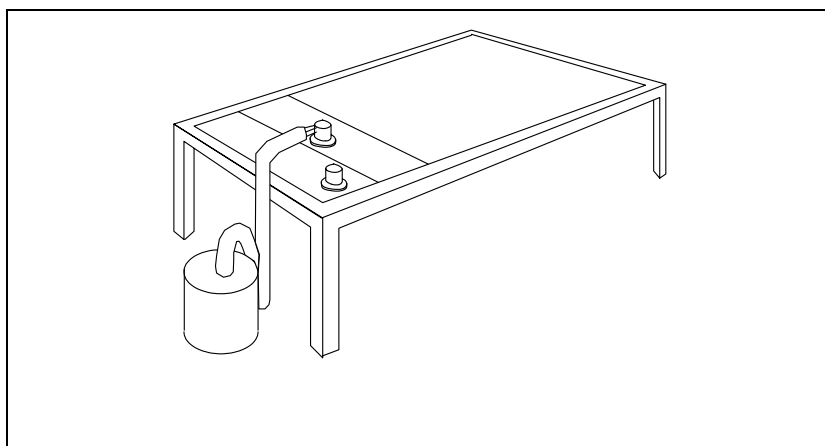
5.1.5. Fuerza y movimiento

Aunque dentro del campo de las preconcepciones sobre la relación Fuerza - movimiento se pueden considerar distintos aspectos, en términos generales se puede decir que **los alumnos utilizan una serie de esquemas muy coherentes entre sí y que constituyen un sistema alternativo a la interpretación newtoniana del movimiento.**

Como en nuestro nivel educativo solamente se estudian movimientos rectilíneos, no se reseñan los resultados de investigaciones sobre otros tipos de trayectorias.

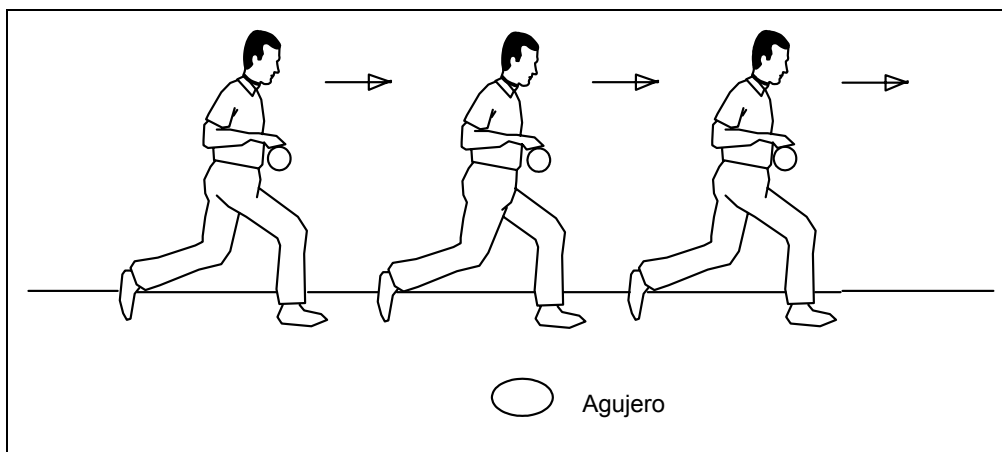
El movimiento uniforme requiere una fuerza constante

Para los alumnos reposo y movimiento uniforme son situaciones dinámicamente diferentes dado que su experiencia cotidiana les dice que para mantener un cuerpo en movimiento hay que aplicarle una fuerza constante: *“la situación natural de un cuerpo es el reposo y si se mueve es porque existe una causa para ello”*. Esta experiencia se incorpora al marco conceptual del alumno y es muy persistente al cambio. McDermott (1984) y Lawson (1984) plantearon a alumnos universitarios y profesores en formación la tarea de mover en línea recta a velocidad constante un disco de aire seco de 3 kg por medio de una manguera de aire comprimido (Figura 5.4): Únicamente la mitad de los universitarios y un tercio de los profesores utilizaron un impulso instantáneo, los restantes utilizaron una ráfaga de aire constante, varias ráfagas cortas o una larga pero decreciente. Gunstone y Watts (Driver et al., 1985) citan numerosas investigaciones que corroboran la existencia de estas ideas intuitivas en alumnos de diferentes países y diferentes niveles educativos.



**Figura 5.4. Producción de un movimiento uniforme
(McDermott, 1984, Lawson, 1984)**

McCloskey (1983) ha investigado los **conocimientos en acción** de estudiantes universitarios y no universitarios, solicitándoles que suelten, mientras corren, una pelota de forma que entre en un agujero situado en el suelo (Figura 5.5): La mayoría de los alumnos sueltan la pelota justo cuando pasan encima del agujero, lo cual sugiere que asumen implícitamente que la velocidad de la pelota se anula en el momento de soltarla.



**Figura 5.5. Predicción de la trayectoria de un
objeto que cae (McClosky, 1983)**

La fuerza varía con la velocidad

Viennot (1979) realiza un estudio muy amplio y muy completo a estudiantes desde secundaria hasta tercero de universidad de diferentes países. Propone dos tareas que exigen señalar la fuerza que actúa sobre dos sistemas diferentes - uno constituido por graves que se mueven libremente siguiendo distintas trayectorias y el otro formado por masas que oscilan colgadas de muelles - en el instante en que se encuentran en la misma posición (Figura 5.6). El análisis de las respuestas muestra la existencia de una relación pseudolineal entre fuerza y velocidad:

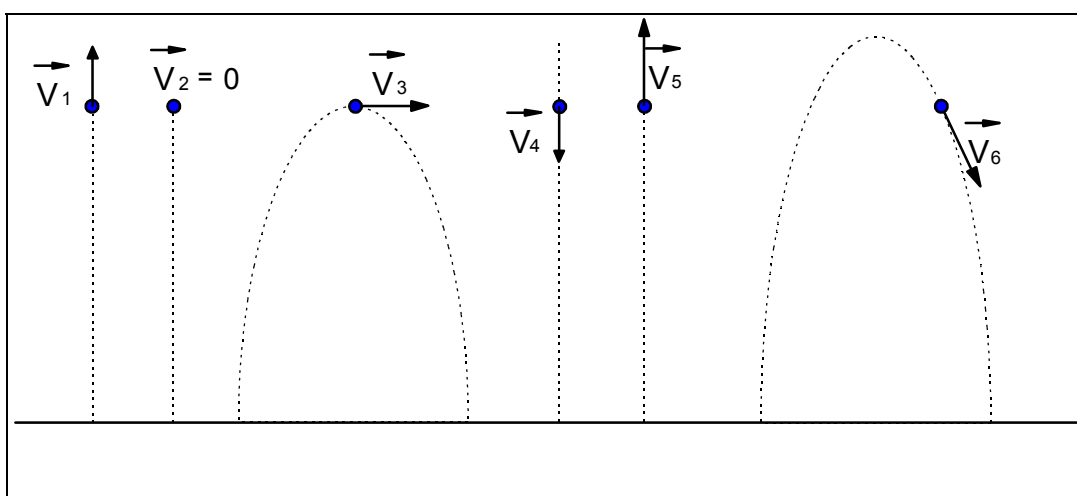


Figura 5.6. Predicción de las fuerzas que actúan sobre pelotas en el aire (Viennot, 1979)

- si la velocidad es cero, los estudiantes piensan que la fuerza es cero aunque la aceleración no sea nula
- si la velocidad es distinta de cero, consideran que existe una fuerza aunque la aceleración sea nula.
- si las velocidades son diferentes, las fuerzas también lo son aunque las aceleraciones sean iguales.

Champagne et al. (1980) detectan otro aspecto del problema: Los alumnos consideran que bajo fuerza constante, el objeto se mueve a velocidad constante (la velocidad es proporcional a la fuerza) y para conseguir una aceleración es preciso un aumento de las fuerzas.

Sebastiá (1984), Carrascosa (1987) y Acevedo (1989) han detectado estas ideas en estudiantes españoles. Valera et al. (1983) encuentran que un 22% de los estudiantes de 2º B.U.P. relacionan la fuerza con la velocidad en lugar de hacerlo con la aceleración.

Cuando las preguntas se plantean en forma algebraica (dando la ecuación del movimiento), los estudiantes asocian muy bien la fuerza con la aceleración y no con la velocidad. Este hecho enmascara, generalmente, el problema de la asimilación de estos conceptos en el aula.

En estado de reposo no actúa ninguna fuerza

Como consecuencia de estas ideas, algunos estudiantes consideran que no tiene sentido buscar una fuerza si no existe una acción manifiesta.

Minstrell (1982) planteó a los alumnos de secundaria de una escuela norteamericana que dibujaran las fuerzas que actúan sobre un libro apoyado en una mesa: El 50 % pensaba que solamente actuaba la fuerza de la gravedad, “la mesa estaba simplemente en el medio”. Esta regla de que “*la ausencia de movimiento significa falta de fuerza*” forma frecuentemente parte de las explicaciones de los niños al hecho de que los cuerpos se paren.

Esta idea ha sido comprobada por Driver (1986) en situaciones estáticas como el caso de dos masas iguales suspendidas de un muelle: Algunos alumnos argumentan que la lectura del dinamómetro será cero porque las fuerzas se anulan mutuamente.

El movimiento se produce en la dirección de la fuerza

Diversos autores han utilizado la prueba diseñada por Watts y Zylbersztajn (1981) para analizar el tipo de relación fuerza-movimiento que mantienen sus

estudiantes. Esta prueba ha sido también utilizada en esta investigación y se presenta en el apartado 5.2.2. (Figura 5.10).

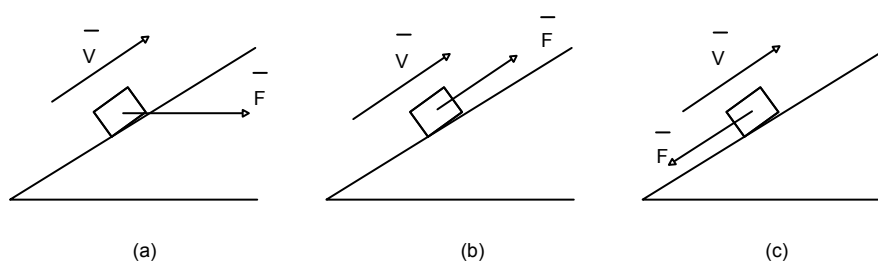
- Watts y Zylbersztajn (1981) encuentran que un 85 % de una muestra de 125 alumnos de 14 años señalan que la piedra lanzada hacia arriba posee una fuerza ascendente.
- Osborne y Freyberg (1985) encuentran que menos del 22% de una muestra de 800 alumnos entre 13 y 17 años mantiene el punto de vista newtoniano; incluso los estudiantes de física de 17 años eligen siempre una fuerza en la dirección del movimiento.
- Clement (1982) realizó estudios pre-test/post-test en alumnos de ingeniería, encontrando que el esquema alternativo “movimiento implica fuerza” es resistente al cambio, especialmente si el movimiento se realiza con una fuerza en oposición, en cuyo caso se inventan una fuerza en la dirección del movimiento que supere la fuerza opositora.
- Halloun y Hestenes (1985) vuelven a encontrar que un 65% de los estudiantes de Física introductoria a la Universidad mantiene la idea pre-científica “cada movimiento tiene una causa”, junto con esquemas relativos a la imposibilidad de movimiento en el vacío y a la consideración de la masa como una fuerza resistiva.

Esta idea de que el movimiento implica una causa y que esta causa está *en* el cuerpo, fue sostenida ampliamente por los científicos del siglo XIV. Es la **teoría del ímpetus** de Buridan: El empuje inicial proporciona al cuerpo un ímpetus o fuerza interna que se va consumiendo hasta que el cuerpo se detiene. Esta teoría supuso en su día un avance respecto a las teorías aristotélicas pero, al seguir poniendo el énfasis en la velocidad en lugar de en la aceleración de los cuerpos, dificulta la comprensión de la Dinámica newtoniana.

Sebastiá (1984), Carrascosa (1987) y Acevedo (1989) han confirmado la persistencia de estos esquemas alternativos en estudiantes españoles, tanto en 2º

BUP como en graduados universitarios. En estos niveles superiores, un porcentaje elevado de estudiantes argumenta la existencia de una fuerza superior al peso cuando un cuerpo asciende, de modo que la resultante tenga la dirección del movimiento. Otros dibujan una resultante que es la suma del peso y la fuerza en la dirección del movimiento (Figura 5.7). Sebastián considera que este tipo de razonamientos no supone un paralelismo con teorías “históricas”, sino que se debe a una estructura de pensamiento causal: Las fuerzas son las causas que explican el movimiento de los cuerpos y, para no violar esta relación de naturaleza causal, se ven obligados a introducir fuerzas “extras”. Según este investigador, para los alumnos las fuerzas no son todas de la misma naturaleza: Unas son inherentes al cuerpo (peso), otras provienen de interacciones (fuerzas de contacto) y luego están las fuerzas extras, caracterizadas por su acción sobre el cuerpo (que se mueva, que no se caiga, etc.).

Un cuerpo se lanza hacia arriba por un plano inclinado. Indicar cuál de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo mientras asciende



**Figura 5.7. Fuerza y movimiento en trayectorias rectilíneas
(Carrascosa, 1987)**

Viennot (1979) sugiere que los alumnos mantienen varios registros de razonamiento funcionando simultáneamente:

- **Fuerza de interacción:** verifica la **segunda ley de Newton** $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ y se utiliza para interpretar el movimiento cuando éste se realiza en el mismo sentido que la fuerza aplicada.

- **Fuerza del objeto:** cumple una relación $\dot{E} = cte \cdot \dot{p}$ y actúa cuando el cuerpo tiene un movimiento que resulta incompatible con las fuerzas de interacción existentes (fundamentalmente por ser de sentido contrario). Esta noción tiene un carácter híbrido entre fuerza y energía, atribuida al objeto y susceptible de ir consumiéndose.

5.1.6. Posición y velocidad

Una de las dificultades conceptuales más importantes en la enseñanza del movimiento tiene, de nuevo, una fuerte componente causal: Para los alumnos la velocidad es una propiedad intrínseca al objeto e independiente del sistema de referencia (Saltiel y Malgrange, 1980; Trowbridge y McDermott, 1980, 1981; McDermott, 1984) .

La confusión entre las diferentes magnitudes cinemáticas es total. La principal de ellas es la existente entre posición y velocidad (Trowbridge y McDermott, 1981). McDermott (1984) también la ha encontrado en una muestra de 80 niños de 11 años y de 700 estudiantes universitarios. Un 30% de los alumnos de Física introductoria a la Universidad encuestados por Halloun y Hestenes (1985) piensa que cuando dos partículas ocupan simultáneamente la misma posición tienen la misma velocidad, aunque estuvieran moviéndose con velocidades constantes diferentes. Algunos asocian el ir delante con llevar mayor velocidad (Trowbridge y McDermott, 1981).

No hay que olvidar que la velocidad es una función de dos variables: posición y tiempo. Esto plantea dificultades a los alumnos que todavía no han alcanzado el nivel de operaciones concretas. Hasta que el adolescente no tenga la capacidad de considerar simultáneamente el efecto de ambas variables no será capaz de comprender el concepto de velocidad (Hierrezuelo y Montero, 1988).

Tampoco diferencian intervalo de tiempo e instante de tiempo, ni velocidad media e instantánea. No asocian la velocidad instantánea con un instante determinado ni distinguen velocidad de cambio de velocidad; tampoco tienen en

cuenta el intervalo de tiempo durante el cual se ha producido el cambio de velocidad, de ahí sus dificultades con el concepto de aceleración. En cuanto a los gráficos, no distinguen prácticamente entre gráficos posición - tiempo y velocidad - tiempo (McDermott, 1984; Halloun y Hestenes, 1985).

Trowbridge y McDermott (1981) estudiaron la conceptualización de la aceleración en estudiantes de Física introductoria a la Universidad, encontrando también una confusión entre posición y aceleración (en la misma posición, los cuerpos tienen la misma aceleración), así como entre velocidad y aceleración. Otro error habitual es comparar la aceleración en base a las velocidades finales (30% de los estudiantes tras haber estudiado el tema). Un 80% de todas las muestras estudiadas no usan cocientes para comparar la aceleración antes de iniciar su estudio (y, después, un 65% sigue sin utilizarlos). En la tarea cuantitativa de comparación de las aceleraciones, los fallos (un 75% de la muestra) provienen de

usar $a = \frac{v}{t}$ al no discriminar entre velocidad y cambio de velocidad. Otros errores

habituales son considerar que la aceleración se anula cuando lo hace la velocidad o que varía cuando cambia el sentido de la velocidad (36% de la muestra), así como una gran dificultad en asimilar que la aceleración permanece constante cuando la velocidad no lo hace (Errores íntimamente relacionados con los existentes en la relación Fuerza - velocidad). Sugiere la necesidad de dedicar más tiempo a la comprensión operatoria de estos conceptos cinemáticos, aunque obligue a omitir otros temas más avanzados, y acompañar las explicaciones con demostraciones.

Valera et al. (1983) recogieron información de estudiantes españoles de diversos niveles (3º E.G.B. - 2º B.U.P.): Más de un 70% de los estudiantes de B.U.P. denotan no tener claro el concepto de aceleración.

5.2. EXPLORACIÓN DE LOS ESQUEMAS ALTERNATIVOS EN NUESTRA INVESTIGACIÓN

En el marco de la teoría constructivista, el primer paso de la investigación fue realizar una exploración inicial de las ideas que los estudiantes de 2º de B.U.P. tienen cuando comienzan el estudio de la Mecánica.

Debido a la amplitud del tema, entre todos los esquemas conceptuales que según la bibliografía presentan esquemas alternativos resistentes al proceso de enseñanza, se eligieron los cuatro que, en nuestra opinión, son fundamentales para una comprensión científica del área :

- La fuerza como medida de la interacción entre dos sistemas. Principio de acción y reacción
- Confusión fuerza y energía
- Fuerza y movimiento en trayectorias rectilíneas
- Posición y velocidad

Las respuestas de los estudiantes se han distribuido en tres niveles:

Nivel III - En este nivel se clasifica a los alumnos cuyas respuestas se pueden considerar científicamente aceptables dentro de las limitaciones pertinentes: problemas de lenguaje, aproximaciones escolares a la Ciencia, etc.

Nivel II - Corresponde a los estudiantes que mantienen ideas alternativas y las aplican con cierto grado de coherencia en la resolución de las distintas tareas presentadas para explorar un esquema conceptual.

Nivel I - Agrupa a todos los alumnos que aportan contestaciones no coherentes para las distintas tareas presentadas para un mismo esquema conceptual. Sus explicaciones dependen en gran medida del contexto y son, desde el punto de vista de la Física, claramente erróneas.

5.2.1. La fuerza como medida de la interacción entre dos sistemas. Principio de acción y reacción

Para explorar si los estudiantes consideran que la fuerza es una interacción entre dos cuerpos en la cual cada uno de ellos ejerce una fuerza sobre el otro cuya intensidad es idéntica independientemente del cuerpo que la ejerza, se eligió la prueba propuesta por Hierrezuelo y Montero (1988) que se presenta en la Figura 5.8.

Dicha prueba plantea la situación en tres contextos diferentes: interacciones gravitatorias, eléctricas y magnéticas. Con ello se refuerza la visión integrada de la Física, tal como se propone en el planteamiento de la investigación.

A la vista de los diferentes enfoques con que los alumnos se enfrentan con este principio, sus respuestas se han distribuido en cuatro niveles:

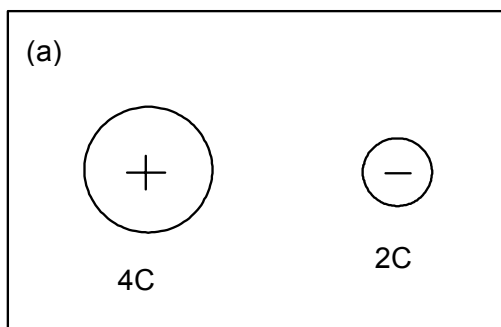
Nivel IV - Alumnos que aplican correctamente el tercer principio de la Dinámica en las tres situaciones que se presentan.

Nivel III - Alumnos que consideran que ambos cuerpos se ejercen fuerzas entre sí, pero que el cuerpo mayor ejerce la fuerza mayor.

Nivel II - Alumnos que consideran que únicamente el cuerpo mayor ejerce fuerza sobre el otro. Así la Tierra atrae a la manzana y el imán al clavo, pero no al revés.

Nivel I - En este nivel se agrupan los estudiantes con respuestas no coherentes entre sí o que no contestan la pregunta.

En cada una de las parejas de cuerpos (a, b, y c) de los dibujos siguientes responde las cuestiones que se plantean:

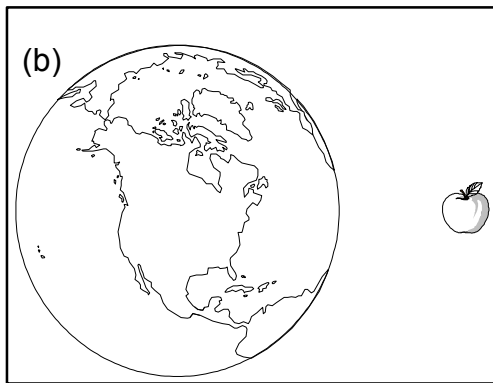


¿Cuál de los objetos atrae al otro?.

- El de 4C atrae al de 2C
- El de 2C atrae al de 4C
- Ambos se atraen entre sí

¿Cuál de los dos objetos ejerce una fuerza mayor?.

- El de 4C.
 - El de 2C.
 - Ambos la misma.
-

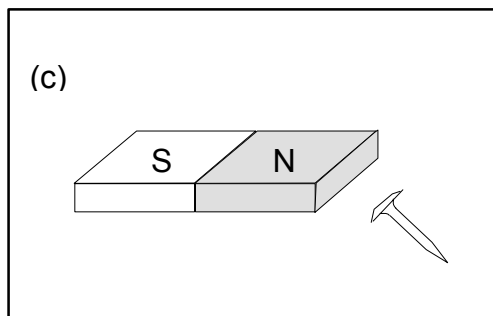


¿Cuál de los objetos atrae al otro?

- La Tierra atrae a la manzana.
 La manzana atrae a la Tierra.
 Ambos se atraen entre sí

¿Cuál de los dos objetos ejerce una fuerza mayor?

- La Tierra.
 La manzana.
 Ambos la misma.
-



¿Cuál de los objetos atrae al otro?

- El imán al clavo.
 El clavo al imán.
 Ambos se atraen entre sí

¿Cuál de los dos objetos ejerce una fuerza mayor?

- El imán.
 El clavo.
 Ambos la misma.

**Figura 5.8. Principio de acción y reacción
 (Hierrezuelo y Montero, 1988)**

Como esta prueba únicamente se ha utilizado en el pretest, con el objetivo de recoger información para el diseño de los materiales didácticos, en este apartado se resumen los resultados obtenidos.

Únicamente uno de los alumnos (de una muestra total de 104), aplica correctamente el principio en las tres situaciones (Nivel IV), mientras que 16 (15,4%) reconocen que ambos cuerpos se ejercen fuerzas entre sí (Nivel III). Más de la mitad de los estudiantes (53%) quedan agrupados en el Nivel II, pues consideran que sólo ejerce fuerza el cuerpo mayor, y casi la tercera parte deja en blanco la pregunta o da respuestas no coherentes entre las tres situaciones.

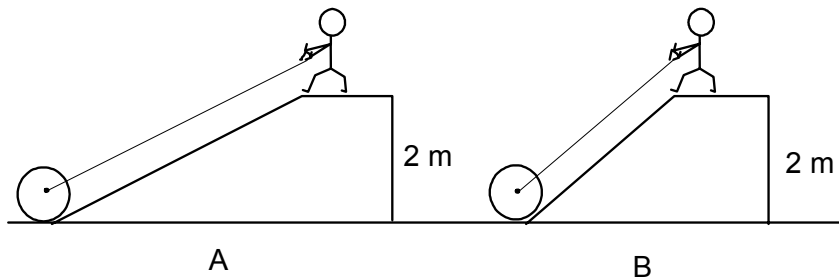
Estos resultados confirman los datos recogidos en la bibliografía sobre la dificultad que encierra la aplicación del principio de acción y reacción en todos los contextos.

5.2.2. Confusión fuerza y energía

Para explorar si los alumnos distinguen los conceptos de fuerza y energía se eligió la tarea propuesta por Hierrezuelo y Montero (1988) que requiere evaluar la intensidad de la fuerza y la cantidad de energía necesaria para subir un peso por rampas de diferentes pendientes (Figura 5.9). Esta prueba es una adaptación de la propuesta por Bliss, Morrison y Ogborn (1988) que sólo exigía evaluar la transferencia energética.

Para los alumnos resulta fácil reconocer que el hombre ha de realizar una fuerza mayor en el caso del plano que presenta la pendiente mayor. Pero, si no han alcanzado un grado de distinción de ambos conceptos, les resulta difícil asimilar que la energía transferida es igual en ambos casos.

El dibujo muestra a un hombre que sube un cilindro pesado desde el suelo hasta una altura de 2 m, pudiendo utilizar dos rampas. Haz una marca en el recuadro de la respuesta con la que estés de acuerdo:



1) ¿En qué caso hace el hombre más fuerza?

- En A
- En B
- Igual en los dos casos

Razona tu respuesta

2) ¿En qué caso “gasta” el hombre más energía?

- En A
- En B
- Igual en los dos casos

Razona tu respuesta

Figura 5. 9. Fuerza y energía

(Bliss et al., 1988; Hierrezuelo et al., 1988)

Los niveles propuestos son los siguientes:

Nivel III - Alumnos cuyas respuestas están fundamentadas en ideas aceptables sobre el concepto de fuerza y la conservación de la energía.

Nivel II - Alumnos que confunden fuerza y energía. También se incluye a aquéllos que, eligiendo la opción correcta, utilizan en su razonamiento argumentos no mecánicos (tiempo, pendiente, espacio, etc.).

Nivel I - En este nivel se agrupan los estudiantes que no razonan sus respuestas o que no contestan la pregunta.

5.2.3. Fuerza y movimiento en trayectorias rectilíneas

Este esquema conceptual es, sin lugar a dudas, el que mayores dificultades presenta para el estudiante y se han diseñado varias pruebas para explorarlo (Viennot, 1979; Watts y Zylbersztajn, 1981; Sebastiá, 1984; Halloun y Hestenes, 1985; Carrascosa, 1987).

Durante el curso 93-94 se aplicó la prueba diseñada por Sebastiá, que presenta dibujadas todas las fuerzas que el alumno puede sugerir (gravedad, ímpetus y fuerza resultante). Dicha prueba resultó muy difícil para los alumnos de 2º de B.U.P. y, además, resultaba muy difícil de categorizar. Por ello, durante el curso 94-95 se recurrió a la prueba original propuesta por Watts y Zylbersztajn, que se presenta en la Figura 5.10.

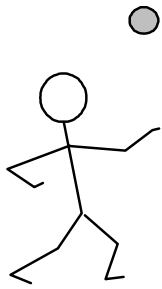
Su objetivo es evaluar si el estudiante reconoce la existencia de una única fuerza, la atracción gravitatoria que la Tierra ejerce sobre la pelota, o si, al contrario, considera que actúa una fuerza en el sentido del movimiento.

En este caso se establecieron solamente tres niveles:

Nivel III - Alumnos que presentan la conceptualización científicamente correcta.

Nivel II - Alumnos que eligen siempre la fuerza en la dirección del movimiento y fuerza nula en el punto más alto del recorrido.

Nivel I - Estudiantes cuyas respuestas son incoherentes para las diferentes tareas presentadas o que no contestan la pregunta.



Una persona lanza al aire en línea recta, hacia arriba, una pelota de tenis. Las preguntas se refieren a la **fuerza total** sobre la pelota a lo largo de su recorrido.

1. La pelota ha sido lanzada y está subiendo, ¿que flecha mostrará la **fuerza** sobre la pelota?

(a) (b) (c)

2. Si la pelota está parada en el punto más alto de su recorrido, ¿con qué flecha se muestra la **fuerza** sobre la pelota?

(a) (b) (c)

3. Si la pelota está ya cayendo, ¿con qué flecha se muestra la **fuerza** sobre la pelota?

(a) (b) (c)

Explica, en cada uno de los casos (1, 2 y 3), las razones de tu elección. Puedes utilizar el dorso de la hoja.

Figura 5.10. Fuerza y movimiento en trayectorias rectilíneas
(Watts y Zylbersztajn, 1981)

5.2.4. Posición y velocidad

El objetivo de esta tarea es evaluar si los alumnos piensan que cuando dos partículas ocupan simultáneamente la misma posición tienen la misma velocidad. La prueba elegida (Figura 5.11) es la propuesta por Halloun y Hestenes (1985).

La figura nos muestra las posiciones ocupadas por dos coches **A** y **B** que circulan por la misma autopista en los tiempos 1s, 2s, 3s, 4s, 5s,

En el instante $t = 3s$, ¿que puedes decir de :

- la posición de ambos coches?.
- La velocidad de ambos coches?:

Razona tu respuesta.

Figura 5.11. Posición y velocidad (Halloun y Hestenes, 1985)

Durante el curso 93-94 se planteaba también la pregunta relativa a la aceleración de ambos coches, cuestión que se eliminó durante el curso 94-95 para facilitar el razonamiento de la misma.

Las respuestas se agrupan en tres niveles:

Nivel III - Alumnos que presentan una conceptualización científicamente correcta y bien razonada.

Nivel II - Alumnos que confunden posición y velocidad (idéntica posición implica idéntica velocidad).

Nivel I - Alumnos que dan respuestas incoherentes, no razonadas o que no contestan.

Capítulo 6

MATERIALES DIDÁCTICOS PARA EL ESTUDIO DE LA ENERGÍA MECÁNICA

6.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Esta unidad didáctica cierra el ciclo de las que hemos presentado anteriormente para iniciar a los estudiantes en los conceptos básicos de la Física. Como en las anteriores, se pretende ayudar a los estudiantes a modificar sus ideas iniciales de modo que consigan un aprendizaje significativo de los principios de la Mecánica.

Precisamente en este campo, las ideas alternativas de los estudiantes están más arraigadas que en otros debido a su constante confirmación en la vida cotidiana, y son también las más difíciles de erradicar mediante la enseñanza, ya que no resulta fácil contrastar experimentalmente la discrepancia entre el comportamiento que ellos esperan de los sistemas y el que se da en la realidad.

Este planteamiento hace que el tratamiento del tema responda a dos ideas básicas. Por una parte, estudiar la Mecánica partiendo del punto de vista energético para relacionar los distintos campos de la Física, coherentemente con el tratamiento de las unidades anteriores, y, por otra, utilizar una metodología de aula adecuada para facilitar el cambio conceptual. Esto se concreta en los siguientes puntos:

- Potenciar un punto de vista energético en el tratamiento de los problemas mecánicos, enfoque que los alumnos no suelen utilizar (Driver y Warrington, 1985) y, por ello, iniciar la unidad con la presentación del concepto de Energía potencial como una forma de Energía mecánica no asociada al movimiento y que puede transformarse en otras formas de Energía (Brook y Driver, 1984).

- Desarrollar el estudio de la Energía cinética a partir del Principio de Conservación de la Energía (Mecánica en estos procesos), lo cual nos permite comprobar que la velocidad de los cuerpos que caen es independiente de su masa.
- Introducir el concepto de Trabajo como un proceso de transferencia de Energía entre sistemas, estableciendo la diferencia entre los términos Fuerza, Trabajo Energía y Potencia.

Siguiendo este enfoque, el estudio preceptivo de la Mecánica según los currículos oficiales se completa en base a:

- Estudiar el concepto de Fuerza como resultado de una interacción, tratando de modificar el concepto animista y de poner en evidencia la acción a distancia. También, en el análisis de las fuerzas que actúan sobre sistemas en reposo y en movimiento, se considera que las fuerzas de interacción son siempre iguales, aunque las características de los cuerpos que interaccionan sean diferentes.
- Tratar la cinemática del movimiento rectilíneo uniforme como una consecuencia de la ausencia de fuerzas, en un intento de modificar la idea de que se necesita una fuerza constante para mantener la velocidad. De acuerdo con esto, la aceleración se interpreta como el cambio de velocidad debido a la existencia de una fuerza resultante, que no siempre tiene el mismo sentido que el movimiento.

El resultado de estas ideas básicas se refleja en una secuenciación de los contenidos muy alejada de la tradicional, tal como queda reflejado en el mapa conceptual de la Figura 6.1.

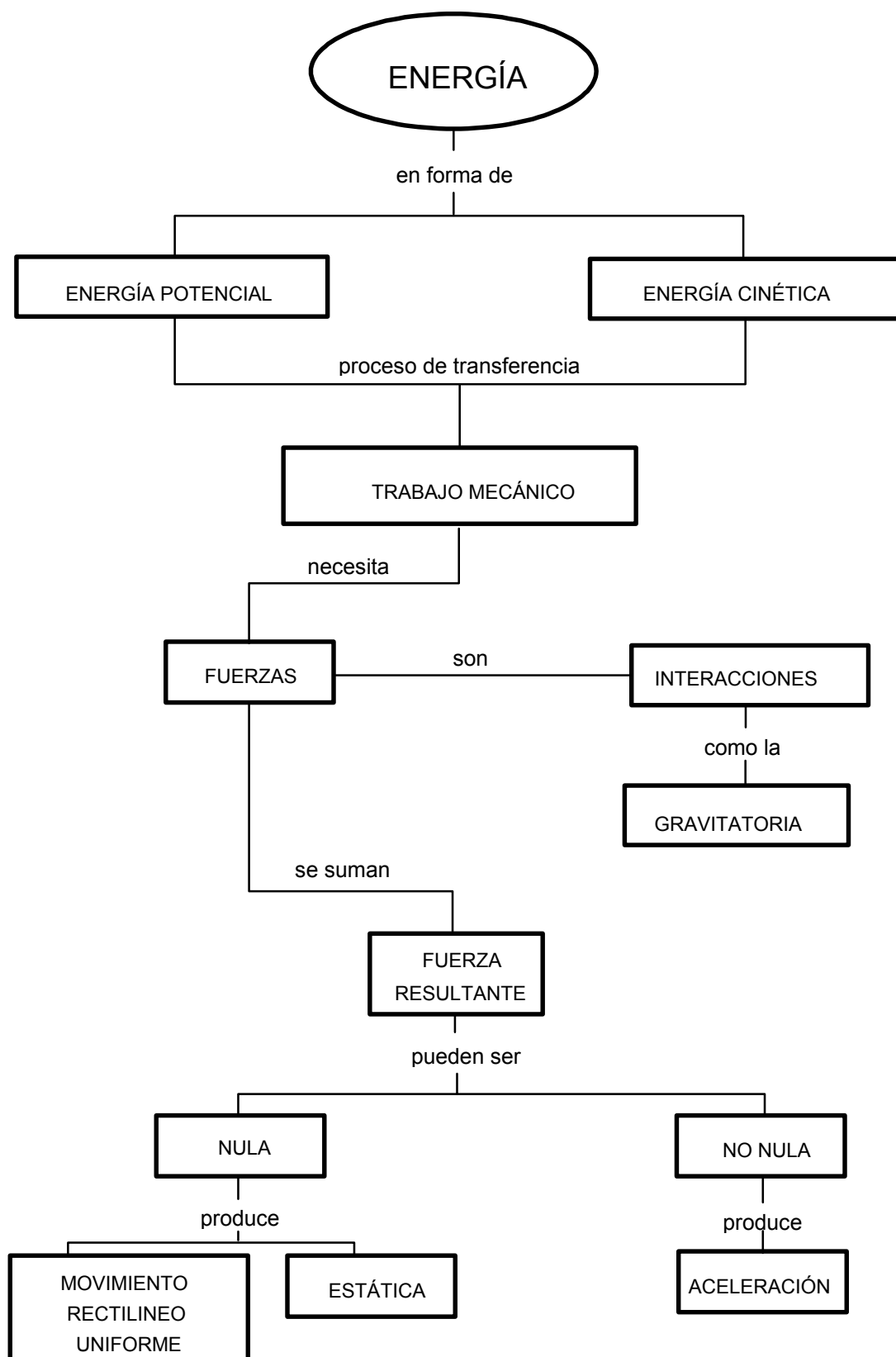


Figura 6.1. Mapa conceptual de la Energía Mecánica

6.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DIDÁCTICOS

De acuerdo con los criterios básicos y la secuenciación propuesta, la Unidad Didáctica se compone de ocho actividades que constituyen el material sobre el que los alumnos van trabajando en equipo, bajo la dirección del profesor que efectúa una evaluación continua de las dificultades con que pueden enfrentarse los alumnos en cuanto a la comprensión y asimilación de los contenidos.

El tiempo total requerido para el trabajo en el aula de las ocho actividades es, aproximadamente, de ocho semanas con cuatro sesiones cada una.

ACTIVIDAD I. ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

ACTIVIDAD II. ENERGÍA CINÉTICA

ACTIVIDAD III. TRABAJO MECÁNICO

ACTIVIDAD IV. FUERZAS

ACTIVIDAD V. EFECTO DE LAS FUERZAS. I. EQUILIBRIO ESTÁTICO

ACTIVIDAD VI. EFECTO DE LAS FUERZAS. II. MOVIMIENTO UNIFORME

ACTIVIDAD VII. EFECTO DE LAS FUERZAS. III. MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO

ACTIVIDAD VIII. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA DINÁMICA

El estudio se inicia con la introducción de la Energía potencial como una transformación de la Energía térmica en una máquina de vapor y, a continuación, se relaciona la Energía cinética con la potencial a través de la transformación de ésta en la caída de graves. La Conservación de la Energía mecánica sirve para calcular la velocidad con que caen los cuerpos de masa diferente.

El concepto de Energía potencial sirve para introducir el de Trabajo a partir de la consideración del necesario para elevar pesos, con o sin la ayuda de máquinas simples. Este tratamiento permite introducir el Trabajo como un modo de comunicar Energía mecánica a un sistema.

Este primer manejo del concepto de peso y Fuerza da pie para considerar cual es la causa del peso de los cuerpos y establecer la diferencia entre masa y peso. De este modo se llega, en una primera aproximación, a la idea de interacción entre masas que se amplía a otros tipos de interacciones y constituye una introducción al estudio de las fuerzas.

El tratamiento de las fuerzas desemboca en un estudio de la cinemática que toma como punto de partida el efecto que produce en un sistema el hecho de que la resultante de las fuerzas aplicadas sobre él:

- Sea nula, caso en que el sistema está en equilibrio estático o lleva un movimiento rectilíneo uniforme.
- No sea nula, en cuyo caso se establece la idea de aceleración como un cambio en la velocidad del móvil producido por esta Fuerza resultante.

La unidad se cierra con una revisión de la Conservación y Degradación de la Energía que pone de manifiesto el papel del rozamiento y con una reflexión final sobre el significado científico de los términos Energía, Trabajo y Fuerza, con el que se inició el estudio de la Física.

En consonancia con el diseño de la investigación, una primera versión de los materiales didácticos fue utilizada en un estudio piloto durante el curso 1993-94. La evaluación del cambio conceptual producido en los alumnos (que se presenta en el apartado 7.2), así como de la eficacia y claridad de los materiales, nos ha llevado a efectuar algunas modificaciones en ellos. A continuación se describe, en cada una de las actividades, el diseño original y, en aquellas que sufrieron modificaciones, la versión definitiva.

ACTIVIDAD I. ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

- Transformaciones energéticas

- Factores que influyen en la Energía potencial
- Masa y peso
- Otros sistemas con Energía potencial

Duración: 4 sesiones

Curso 93-94

Con el fin de introducir el concepto de Energía potencial a partir del Principio de Conservación de la Energía, se inicia esta actividad retomando las transformaciones de Energía que se producen en una máquina de vapor que ya se analizaron en la Unidad de Energía Térmica (Apartado 4.2.2.). Como complemento se suministra una lectura sobre la historia de la máquina de vapor tomada del libro “*Momentos estelares de la Ciencia*” de Asimov.

En este caso la máquina se utiliza para elevar un peso y de este modo se conduce a los alumnos a la idea de que la Energía térmica del vapor ha quedado almacenada en el peso, y que éste tiene ahora una energía "en potencia", utilizando este término en el sentido cotidiano (Figura 6.2.).

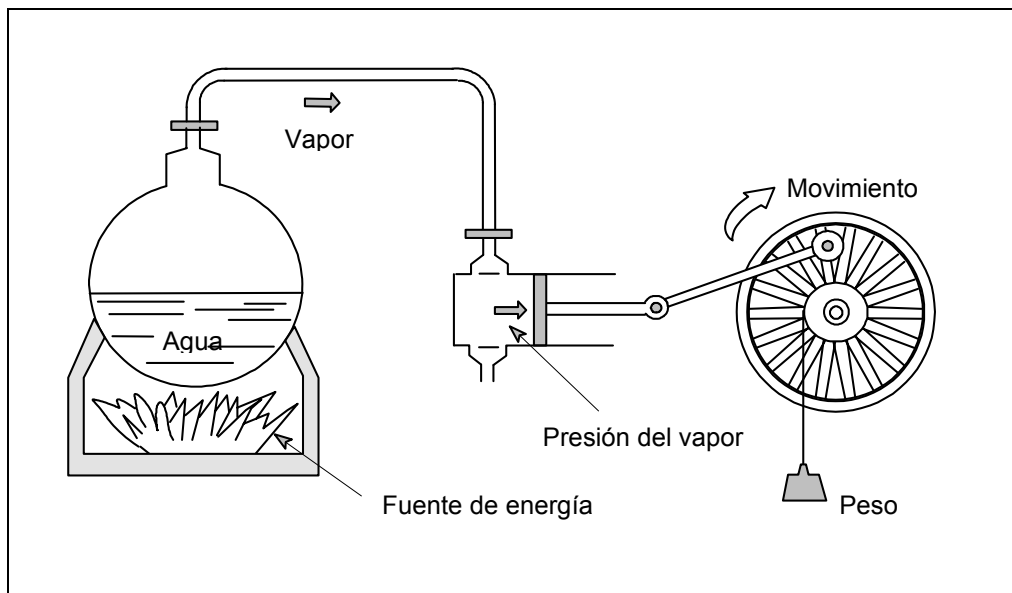


Figura 6.2. Transformación de Energía Térmica en potencial

Para llegar a la expresión de la Energía potencial, se plantea la cuestión de los factores que pueden influir en el gasto de combustible de una grúa que se utiliza para

elevantes pesos con objeto de establecer relaciones con la experiencia cotidiana de los alumnos.

La diferencia entre masa y peso se introduce con un fragmento de "*De la Tierra a la Luna*" de Julio Verne y a partir del peso de Armstrong en la Luna. Se efectúan cálculos de los diferentes pesos de una misma masa en la Tierra, la Luna y otros planetas a partir de la intensidad de la gravedad en ellos, para que los alumnos saquen conclusiones y expresen la masa en kg y el peso en N.

Cuando ya han adquirido cierta idea de Energía potencial, se presentan varios esquemas de diferentes masas a diferentes alturas sobre distintos planetas con el fin de que los alumnos deduzcan la relación entre sus energías potenciales gravitatorias, y a partir de esta relación puedan encontrar la expresión matemática de la Energía potencial (Figura 6.3.).

Para completar el tema, se hace que los alumnos reflexionen sobre otros sistemas que también tienen Energía potencial.

Curso 94-95

Para relacionar los nuevos conceptos con lo estudiado en la Actividad IV de la Unidad de Introducción a la Energía (ver apartado 3.3), se añadió una revisión de las transformaciones energéticas que se producen en una central hidroeléctrica.

Al haber detectado cierta dificultad en la interpretación de los esquemas abstractos por los alumnos, se introdujeron más ejemplos cotidianos para relacionar la Energía potencial de masas iguales colocadas a diferentes alturas, tal como se muestra en la Figura 6.4.

Observa atentamente estos esquemas:

a1) ¿Cuál de las dos masas tiene más energía?.

a2) ¿Cuál sería la relación entre la energía potencial gravitatoria de la masa m en la posición A) y en la B)?.

b1) ¿Qué masa tiene mayor energía potencial gravitatoria?

b2) ¿Cuál es la relación de energías?.

1) ¿Qué masa tiene mayor energía potencial gravitatoria?

c2) ¿Cuál es la relación de energías?.

d1) ¿Cuál de las dos masas tiene mayor energía potencial gravitatoria?

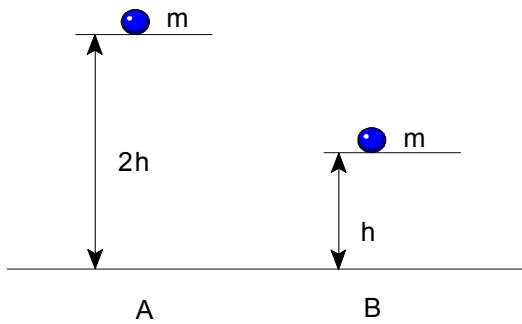
d2) ¿Cuál es la relación de energías?.

Figura 6.3. Introducción a la expresión de la Energía potencial en el curso 93-94

a1) Dos vecinos de una casa tienen dos antenas parabólicas iguales de 40 kg cada una. Uno vive en el tercer piso a unos 9 metros de altura y el otro en el sexto a 18 metros. ¿Cuál de las dos antenas tiene más energía?

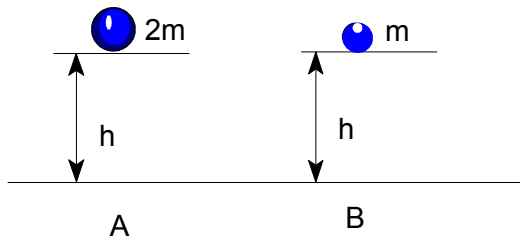
a2) ¿Cuál sería la relación entre la energía potencial gravitatoria de las dos antenas?

a3) El dibujo siguiente representa esquemáticamente la situación de las dos antenas.



¿Cuál sería la relación entre la energía potencial gravitatoria de la masa m en la posición **A** y en la **B**?

b) Observa atentamente el esquema siguiente.



b1) ¿Qué masa tiene mayor energía potencial gravitatoria?

b2) ¿Cuál es la relación de energías?

b3) Describe un caso real que responda a este esquema.

Figura 6.4. Introducción a la expresión de la Energía potencial en el curso 94-95

Como los alumnos encontraron ciertos obstáculos para descubrir por sí mismos ejemplos de sistemas con Energía potencial, se les plantea la cuestión a la inversa, haciéndoles analizar el tipo de energía que contienen sistemas mecánicos (muelles, ballestas), químicos (combustibles) o nucleares (el átomo de Plutonio).

ACTIVIDAD II. ENERGÍA CINÉTICA

- Transformaciones de Energía térmica en Energía cinética
- Transformaciones de Energía potencial gravitatoria en Energía cinética
- La velocidad de los cuerpos que caen
- La Energía de los cuerpos que caen

Duración: 4 sesiones

Curso 93-94

Esta actividad también se inicia estudiando las transformaciones energéticas en una máquina de vapor, en este caso una locomotora, con el fin de introducir la idea de Energía cinética como energía asociada al movimiento. Esta cuestión se aprovecha para tratar de las repercusiones que tuvo la máquina de vapor en la industria y en las comunicaciones por tierra y por vías fluviales.

Paralelamente a lo que se hizo con la grúa de la Actividad I, antes de presentar la expresión matemática de la Energía cinética, se les plantea la cuestión de los factores que deben determinar el consumo de combustible de un tren, para destacar de entre ellos (rendimiento del motor, perfección de la máquina, tipo de vía, tipo de camino, etc.) el papel de la masa y sobre todo de la velocidad, que se puede comparar con el caso de los coches.

A continuación se aborda el tema de la transformación de la Energía potencial en Energía cinética mediante el estudio de la caída de los cuerpos, contrastando sus opiniones con experiencias reales:

- Para estudiar la independencia de la velocidad de caída con respecto a la masa se utilizan dos monedas diferentes que se dejan caer desde la misma altura (Figura 6.5).

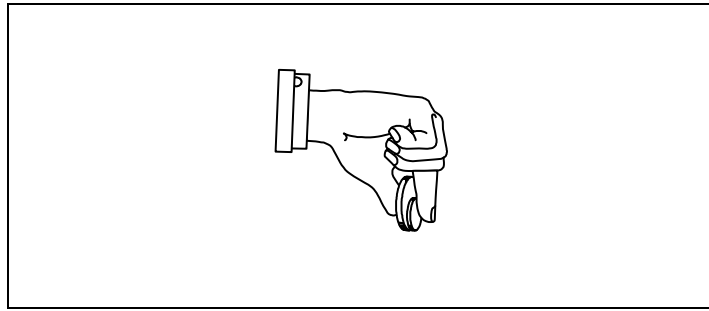


Figura 6.5. Caída de monedas

- Para estudiar el aumento de velocidad en la caída se utilizó el diseño que aparece en la Figura 6.6.

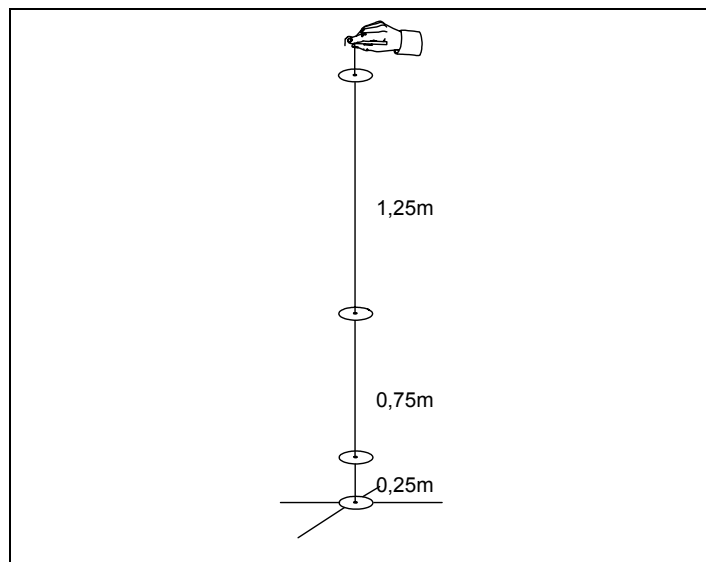


Figura 6.6. Estudio de la velocidad de caída

Una vez que han llegado a la conclusión de que la velocidad de caída va aumentando se les propone un análisis cualitativo, en términos energéticos, de lo que sucede cuando un cuerpo situado a cierta altura cae. Se intenta que expresen que la Energía potencial gravitatoria va disminuyendo mientras que la Energía cinética va aumentando, conservándose la Energía total, suma de ambas, si se supone que las pérdidas por rozamiento son despreciables.

A continuación se aplica el Principio de Conservación a varios ejemplos de cuerpos con masas iguales y masas distintas que caen por diferentes caminos desde la misma altura. Este ejercicio sirve para determinar la velocidad de llegada y recalcar la

independencia que existe entre esta velocidad y la masa de los objetos o la trayectoria recorrida (Figura 6.7).

a) El esquema siguiente representa tres masas iguales, situadas a la misma altura, que caen libremente, sin rozamiento, siguiendo los tres caminos que se muestran:

a.1. ¿Cuál crees que llega abajo con mayor velocidad?

Esquema	Predice
1	
2	
3	

a.2. Aplica el principio de CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA y comprueba tus predicciones.

b) Calcula la energía cinética y la velocidad de llegada al suelo en los dos casos siguientes:

¡Error! Marcador no definido.	Energía potencial	Energía cinética	Velocidad
m (Vertical)			
2m (Pendiente)			

Figura 6.7. Aplicación del Principio de Conservación. Curso 93-94

Por último se realizan varios ejercicios de aplicación tanto en movimientos descendentes como en ascendentes.

Curso 94-95

Del mismo modo que en la actividad anterior, se revisaron los materiales introduciendo los esquemas que representan a las masas elevadas a partir de una situación real. También, en el cálculo de las velocidades de caída para diferentes puntos del recorrido, se decidió separar los casos de influencia de la masa de los de influencia del camino (Figura 6.8).

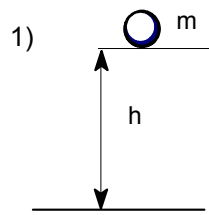
a) Dos tiestos, de 1 kg y de 2 kg, están situados en el tercer piso de una casa, a 9 m de altura. Se rompe el soporte que los sujeta y comienzan a caer. Completa la tabla siguiente:

Situación	Energía potencial	Energía cinética	Energía total
Tiesto de 1 kg en el tercer piso, a 9 m de altura, cuando comienza a caer			
Tiesto de 1 kg cuando pasa por el primer piso, a 3 m de altura			
Tiesto de 1 kg justo antes de chocar con el suelo, a 0 m de altura			
Tiesto de 2 kg en el tercer piso, a 9 m de altura, cuando comienza a caer			
Tiesto de 2 kg cuando pasa por el primer piso, a 3 m de altura			
Tiesto de 2 kg justo antes de chocar con el suelo, a 0 m de altura			

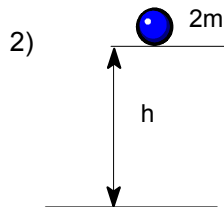
Figura 6.8. Aplicación del Principio de Conservación. Curso 94-95

Detectado que la idea de que la masa influye en la velocidad de caída es muy persistente, a continuación se vuelven a proponer ejemplos de diferentes masas cayendo desde la misma altura para que vuelvan a predecir y, posteriormente calcular, empleando consideraciones energéticas, la velocidad de dichas masas. Por último se estudia el caso de la velocidad de las cuerpos en su caída vertical o por rampas (Figura 6.9).

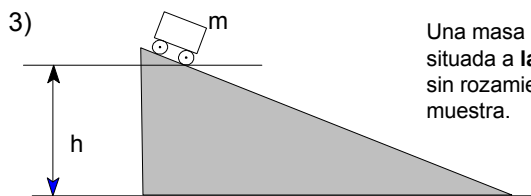
A continuación se presentan cuatro situaciones: dos de caída vertical y dos de caída por una rampa.



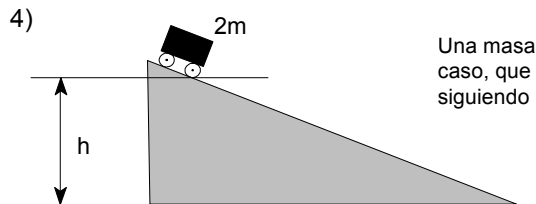
Un cuerpo de masa m elevado a una altura h que se deja en libertad y cae.



Un cuerpo de masa $2m$ elevado a la misma altura h que se deja en libertad y cae.



Una masa m , idéntica a la del primer caso y situada a **la misma altura**, que cae, deslizando sin rozamiento, siguiendo la rampa que se muestra.



Una masa $2m$, idéntica a la del segundo caso, que cae, deslizando sin rozamiento, siguiendo la misma rampa del caso anterior.

Compara las velocidades con que llegan al suelo.

<p>a)</p> <p>$v_1 > v_2$</p> <p>$v_1 = v_2$</p> <p>$v_1 < v_2$</p>	<p>b)</p> <p>$v_1 > v_3$</p> <p>$v_1 = v_3$</p> <p>$v_1 < v_3$</p>
<p>c)</p> <p>$v_3 > v_4$</p> <p>$v_3 = v_4$</p> <p>$v_3 < v_4$</p>	<p>d)</p> <p>$v_2 > v_4$</p> <p>$v_2 = v_4$</p> <p>$v_2 < v_4$</p>

Figura 6.9. Profundización en el Principio de Conservación de la Energía

ACTIVIDAD III. TRABAJO MECÁNICO

- Trabajo como incremento de la Energía potencial
- Generalización de la definición de Trabajo
- Trabajo y transferencia de Energía

Duración: 4 sesiones

Curso 93-94

Se introduce el Trabajo como un modo de comunicar Energía potencial a un cuerpo, analizando los factores que influyen mediante un ejemplo cotidiano (Figura 6.10).

El obrero de la figura, trata de incrementar la ENERGÍA POTENCIAL del saco (que contiene 10 kilogramos de cemento), subiéndole por medio de un sistema de cuerda y polea hasta el piso donde se encuentra.

a) ¿Cómo sería la transferencia de ENERGÍA si lo dejara en el primer piso? ...

IGUAL - DOBLE - MITAD

b) ¿Cómo sería la transferencia de ENERGÍA si subiera un saco con 20 kg? ...

IGUAL - DOBLE - MITAD

Figura 6.10. Introducción del concepto de Trabajo

De este ejemplo, en una primera aproximación, se llega a la expresión de $W = P.h$. Para generalizar la expresión anterior a $W = F.d$ se realiza la experiencia de arrastrar un taco sobre una superficie horizontal, tirando de él con un dinamómetro y ejerciendo la mínima Fuerza necesaria, de manera que el taco se deslice con velocidad

constante. Con los datos tomados experimentalmente se calcula el Trabajo realizado y se representa en una gráfica $F(e)$.

Se realiza después la misma experiencia con un rodillo que, una vez que se pone en marcha, continúa moviéndose sin tirar de él. Se destaca este hecho, poniendo en evidencia que en este caso el Trabajo es nulo.

Para completar la expresión del Trabajo se realiza la experiencia de tirar del bloque ejerciendo la Fuerza en distintas direcciones y se calcula el Trabajo como $W = F \cdot d$ en los distintos casos, de modo que los alumnos lleguen a la conclusión de que esta expresión está incompleta (Figura 6.11).

Suponte que vas a desplazar el bloque de la figura desde la posición **A** hasta la posición **B** a una *velocidad constante* y aplicando la *fuerza mínima necesaria* en las tres direcciones que se indican.

a) Reflexiona y predice: El valor de la **FUERZA** aplicada en los tres casos será:

I) $F_1 = F_2 = F_3$
 II) $F_1 > F_2 > F_3$
 III) $F_1 < F_2 < F_3$

b) Realiza la experiencia y revista tus predicciones sobre la **FUERZA**.

El trabajo realizado en los tres casos debe ser el mismo puesto que el mismo cuerpo se ha trasladado el mismo espacio con la misma velocidad. La expresión obtenida en el apartado 3.1.1.

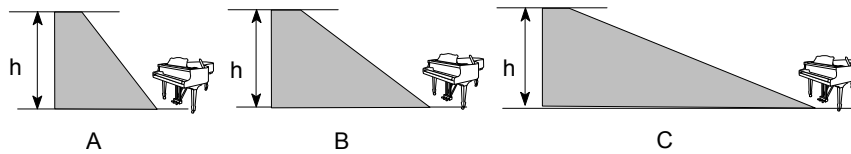
TRABAJO MECÁNICO = Fuerza . distancia recorrida

está incompleta.

Figura 6.11. Definición operativa de Trabajo

Con el fin de remarcar la relación entre el Trabajo y la Energía potencial se efectúa un análisis del Trabajo, la Fuerza y la distancia recorrida en casos de subida de cuerpos a la misma altura utilizando rampas de distintas pendientes (Figura 6.12).

a1) Si quisieras subir un objeto más pesado (un piano, por ejemplo), ¿qué tipo de rampa - A, B ó C - utilizarías?



a2) ¿En qué caso - A, B ó C - se aplica la FUERZA MAYOR?.

a3) ¿En qué caso - A, B ó C - se recorre un ESPACIO MAYOR sobre la rampa?.

a4) ¿En qué caso - A, B ó C - se realiza el MENOR TRABAJO MECÁNICO?.

a5) ¿En qué caso - A, B ó C - se adquiere mayor ENERGÍA POTENCIAL - GRAVITATORIA?.

Figura 6.12. Relación Trabajo - Energía potencial

Por último se relaciona el Trabajo con el aumento de Energía cinética considerando el efecto que produce tirar del bloque con una Fuerza mayor que la de rozamiento.

Se cierra la actividad con unas cuestiones destinadas a poner en evidencia la diferencia entre Trabajo y esfuerzo físico a través de consideraciones energéticas.

Curso 94-95

Debido a la persistencia de la confusión entre trabajo y esfuerzo, se modifica la iniciación al tema, introduciendo desde el primer momento que sin desplazamiento no hay Trabajo. El ejemplo utilizado se mantiene dada su eficacia, (Figura 6.13).

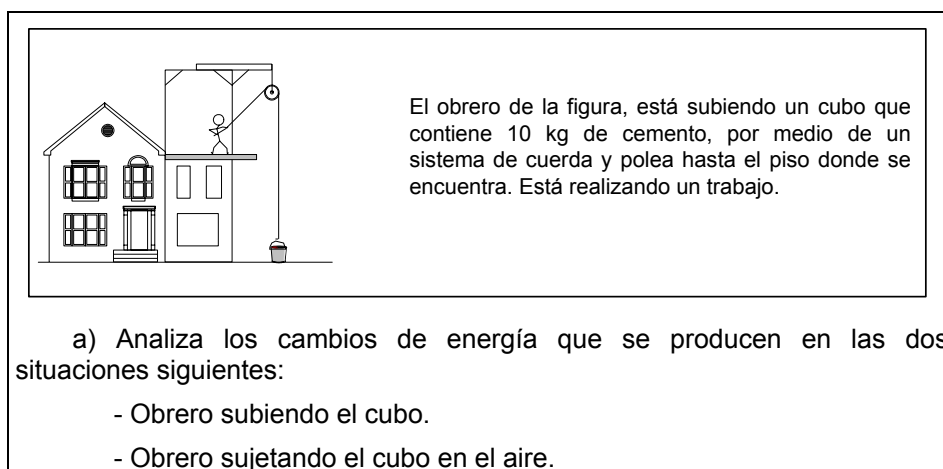
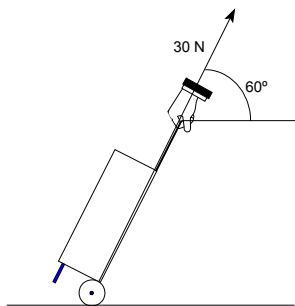


Figura 6.13. Introducción al concepto de Trabajo

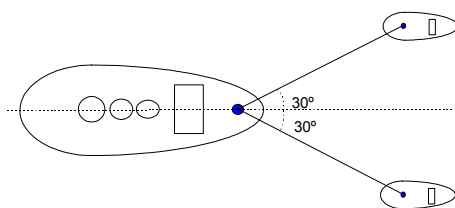
Para profundizar en la definición de Trabajo, se añaden más ejemplos cotidianos con el fin de reforzar la influencia del ángulo existente entre la dirección de la Fuerza y el desplazamiento (Figura 6.14).

c1) Una señora traslada el carrito de la compra desde el mercado hasta su casa. Calcula el trabajo que realiza.



Datos: peso del carrito = 150 N
fuerza necesaria para arrastrarlo = 30 N
distancia mercado - casa = 500 m

c2) En el esquema de la figura se representa la entrada de un transatlántico en un puerto por dos remolcadores. Calcula el trabajo realizado por éstos.



Datos: fuerza realizada por cada remolcador = 2000 N
distancia recorrida = 300 m
masa del transatlántico = 300.000 toneladas

Figura 6.14. Profundización del concepto de Trabajo

La comparación entre la Fuerza y el Trabajo en el caso del taco y el rodillo sirve, igual que en el año anterior, para analizar el papel del rozamiento en el movimiento de los cuerpos, lo cual permite recalcar la Degradación de la Energía debido al Trabajo de la Fuerza de rozamiento.

ACTIVIDAD IV - FUERZAS

- Tipos de fuerzas
- Representación de las fuerzas
- Suma de fuerzas
- Componentes de una fuerza.

Duración: 3 sesiones

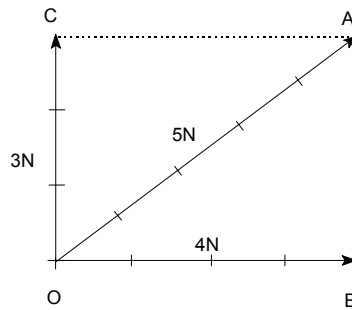
Curso 93-94 y 94-95

Esta actividad, que no sufrió ninguna modificación relevante, se inicia pidiendo a los alumnos que escriban un párrafo que describa una situación real en el que empleen correctamente los términos **Fuerza, Trabajo y Energía**, remitiéndoles a la Actividad I de la Unidad de Energía, donde se ponía en cuestión el significado cotidiano y científico de los mismos (Ver capítulo 3). Con esta tarea se pretende que los alumnos lleguen a adquirir esquemas diferenciados de cada uno de estos conceptos.

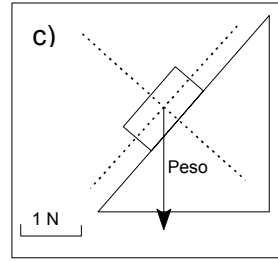
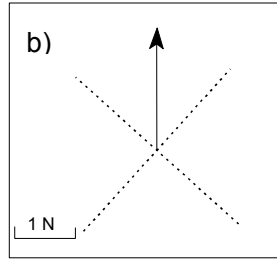
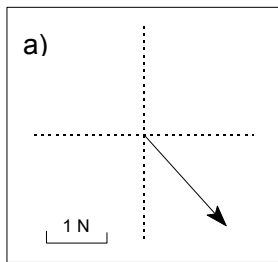
Se introduce el concepto de fuerza como el resultado de una interacción, realizando en el laboratorio experiencias de electrostática y electromagnetismo que, junto con la idea que ya poseen sobre la interacción gravitatoria, permite identificar cuales son, en cada caso, los sistemas que interaccionan. También se destaca la idea de que ambas fuerzas de interacción son de la misma magnitud a pesar de que las características de los cuerpos que interaccionan puedan ser diferentes, utilizando fuerzas entre imanes de distinto tamaño y entre bolitas de médula de saúco con diferente carga. Por último se completan los diferentes tipos de interacción con una referencia a la interacción nuclear fuerte.

El tratamiento de la representación, suma y componentes de una fuerza se realiza de un modo bastante convencional, trabajando sobre esquemas gráficos (Figura 6.15).

Se puede comprobar que la **fuerza** \vec{OA} es la suma vectorial de las dos fuerzas \vec{OB} y \vec{OC} .



Del mismo modo que en el ejemplo anterior la suma vectorial de \vec{OB} y \vec{OC} coincidía con la **fuerza** \vec{OA} , halla, inversamente, **dos fuerzas** en las direcciones que se indican cuya suma sea la **fuerza representada**.



Las dos fuerzas que has hallado se llaman **componentes** de la **fuerza** \vec{F} .

Figura 6.15. Componentes de una fuerza

ACTIVIDAD V. EFECTO DE LAS FUERZAS. I. EQUILIBRIO ESTÁTICO

- Actividades introductorias
- Comprobación experimental del equilibrio

Duración: 3 sesiones

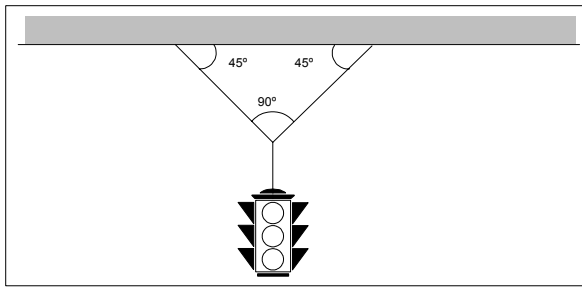
Curso 93-94

Se plantea la posibilidad de que la aplicación de varias fuerzas a un cuerpo rígido produzca el mismo resultado que no aplicar ninguna, pasando a representar gráficamente esta situación. A continuación, el proceso se reproduce experimentalmente utilizando una anilla y varios dinamómetros. De nuevo se representan los sistemas de fuerzas que actúan, comprobando gráficamente que la fuerza resultante es nula.

Curso 94-95

Se introducen modificaciones en el sentido de plantear los problemas a partir de situaciones cercanas a la experiencia cotidiana del alumno; por ejemplo, en la introducción a la Actividad, la idea de resultante nula surge del análisis de cómo deben tres alumnos tirar de una mochila para que ninguno se la lleve y el problema de hallar la fuerza equilibrante se plantea a partir de ejemplos concretos de situaciones conocidas, como el de la Figura 6.16:

b) Un semáforo de 50 N cuelga de dos cables, tal como se indica en la figura. ¿Qué fuerza tiene que soportar cada cable?.



Resuélvelo gráfica y, si puedes, analíticamente.

Figura 6.16. Situación de equilibrio

- Situaciones en que la resultante de las fuerzas es cero.
- Experiencias de Galileo.
- Estudio del movimiento rectilíneo y uniforme.

Duración: 4 sesiones

Curso 93-94

Como ya se ha indicado en el apartado 6.1, el estudio del movimiento rectilíneo uniforme se aborda como una consecuencia de la ausencia de fuerza resultante. Esta situación ya se ha producido anteriormente y por ello se inicia esta Actividad con una revisión de los dos casos más significativos:

- La anilla o la mochila de la Actividad anterior, que permanecen en reposo a pesar de ejercer sobre ellas varias fuerzas, sirve como ejemplo para plantear a los alumnos el problema de encontrar otras situaciones en que suceda lo mismo aunque las fuerzas aplicadas no se perciban. Todo ello con la esperanza de que acaben interpretando situaciones cotidianas de objetos que reposan sobre cualquier superficie horizontal o están colgados. En esta interpretación, los alumnos deben representar las fuerzas de interacción entre los objetos y los sistemas que los soportan, revisando el Principio de acción y reacción introducido en la Actividad IV.
- El bloque utilizado en la Actividad III para calcular el valor del trabajo mecánico se presenta como un caso en que las fuerzas se anulan, produciéndose un movimiento con velocidad constante. A partir de este ejemplo se intenta que los alumnos encuentren por sí mismos otros casos de movimiento uniforme, como el de un patinador sobre hielo o una nave espacial. Estos ejemplos permiten que los alumnos afiancen la idea de que el movimiento uniforme es la consecuencia de una fuerza resultante nula y no el resultado de una fuerza constante.

Para reafirmar esta idea se les propone comentar un texto que describe las experiencias que llevaron a Galileo a establecer el Principio de Inercia..

Una vez que han quedado establecidas las condiciones para que se produzca un movimiento uniforme, se inicia el estudio de éste presentando varias gráficas $x(t)$ de distintos movimientos para que elijan entre ellas la que, en su opinión, representa el caso estudiado (Figura 6.17).

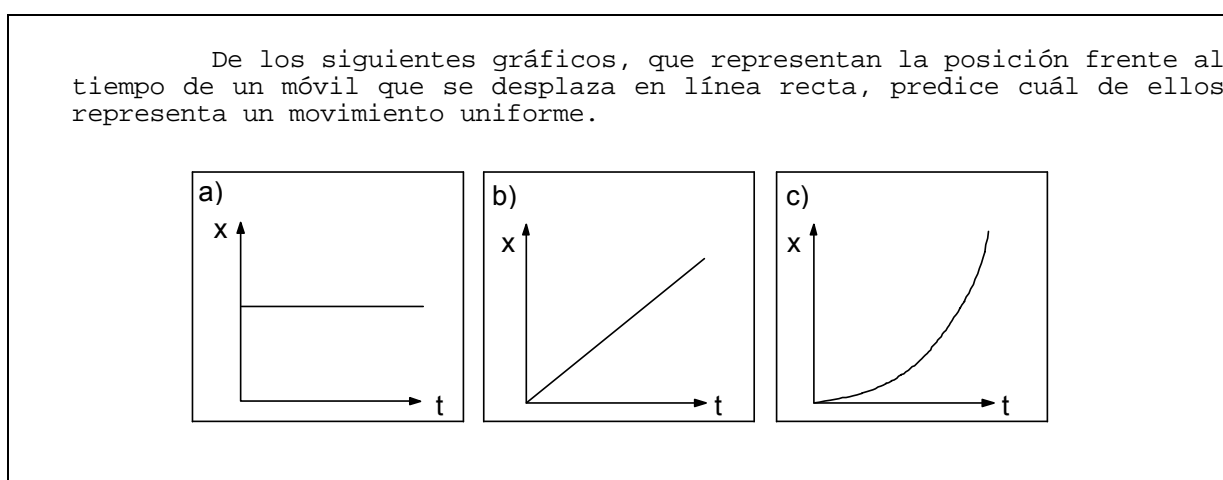


Figura 6.17. Representaciones gráficas de distintos movimientos

Para contrastar la predicción, se realiza una experiencia de laboratorio que consiste en estudiar el avance de un punto de ignición que recorre una recta cubierta con una disolución de nitrato potásico (avance que corresponde a un movimiento uniforme). La realización de la gráfica $x(t)$ con los datos tomados en la experiencia permite confirmar o rechazar la predicción realizada por el alumno.

Este trabajo experimental se aprovecha también para calcular desplazamientos y comprobar que la velocidad es constante, construyendo la gráfica $v(t)$.

Curso 94-95

Los materiales no sufren modificaciones en su estructuración, pero sí en las propuestas de trabajo, en el

sentido de que las situaciones que deben ser analizadas se dan directamente, en vez de proponer a los alumnos que las busquen por si mismos. Así, en el caso de cuerpos en reposo, se plantean los ejemplos de la Figura 6.18.

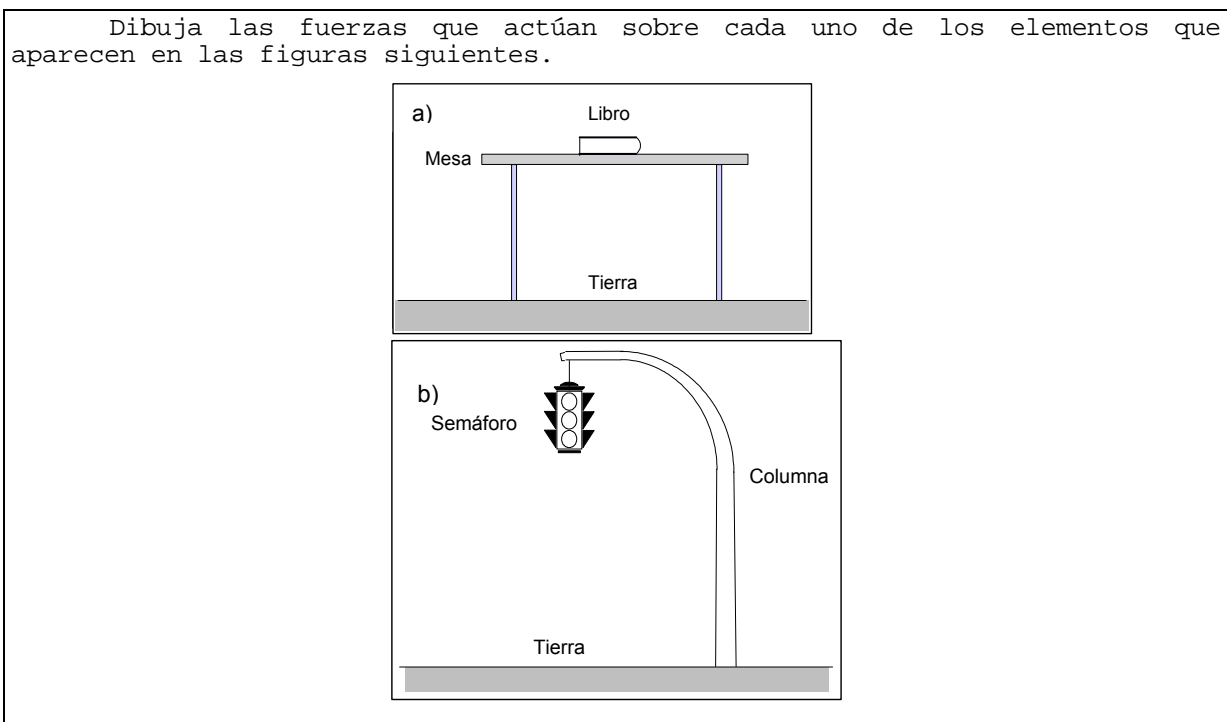


Figura 6.18. Cuerpos en equilibrio estático

Para el estudio del movimiento rectilíneo uniforme se retoma el caso del bloque estudiado en la Actividad III , tal como se indica en la Figura 6.19.

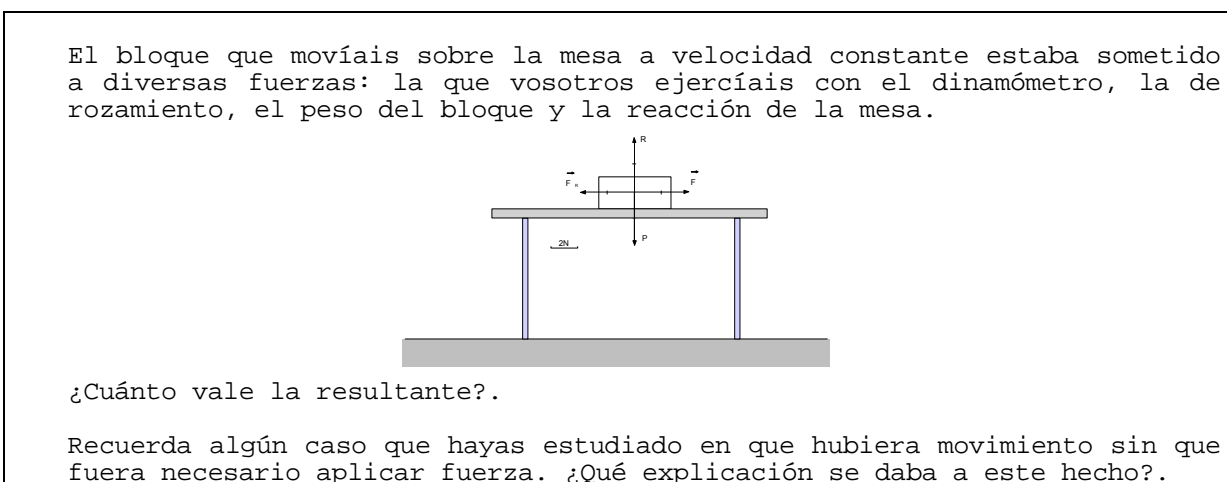


Figura 6.19. Cuerpos en movimiento uniforme

ACTIVIDAD VII. EFECTO DE LAS FUERZAS. III. MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO

- Situaciones en que la resultante de las fuerzas es distinta de cero.

Caída libre

Estudio de la rapidez de salida (*reprise*) de un coche.

- ¿Qué es la aceleración?

Introducción del concepto

Análisis gráficos

- Ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado

Movimiento que parte del reposo

Movimiento que parte con una velocidad inicial.

Duración: 6 sesiones

Curso 93-94

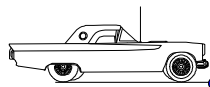
Para establecer que el efecto de una fuerza resultante no nula, en este caso el peso, es un aumento de la velocidad, se analiza el movimiento de caída de graves con dos ejemplos:

- Una fotografía estroboscópica tomada del P.S.S.C que muestra las posiciones de un cuerpo que cae libremente a intervalos de tiempo de $1/30$ de segundo. Esta fotografía se utiliza para que los alumnos calculen la velocidad media en distintos intervalos iguales de tiempo.

- La experiencia de las monedas atadas a una cuerda que ya se realizó en la Actividad II, al tratar de la velocidad de los cuerpos que caen, y que en este caso sirve para hacer una representación gráfica $x(t)$ de la que se deduce que la velocidad debe ir aumentando.

Para establecer cualitativamente el concepto de velocidad, se trabaja con el ejemplo de la Figura 6.20, correspondiente al movimiento de un coche que arranca acelerando uniformemente.

La tabla de datos siguiente muestra los valores reales de la posición de un coche normal en los tiempos que se indican:



¡Error! Argumento de modificador no especificado.

¡Error! Marcador no definido. t (s)	2	4	6	8	10	12	14	16
x (m)	2	8	18	32	50	72	98	128

- 1) Dibuja la gráfica $x - t$ correspondiente.
- 2) Calcula el espacio recorrido, es decir el desplazamiento, en los intervalos de tiempo $[t=0s, t=4s]$ y $[t=10s, t=14s]$.
- 3) ¿Qué podrías decir cualitativamente de la velocidad que lleva el móvil?.

Figura 6.20. Estudio de la rapidez de salida (reprise) de un coche

Una vez establecido el concepto de que la velocidad aumenta cuando hay una fuerza resultante no nula, se analiza su variación sobre la gráfica $v(t)$ del movimiento del coche. Este análisis conduce a establecer el concepto de aceleración y a determinar su expresión analítica. Para profundizar, se sigue trabajando sobre gráficas $v(t)$ de distintos movimientos (Figura 6.21).

a) Señala cuáles de estos gráficos corresponden a un movimiento uniformemente acelerado:

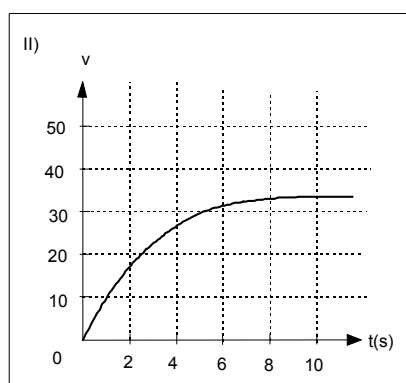
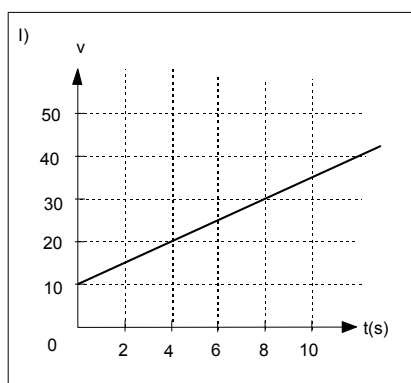


Figura 6.21. Profundización del concepto de aceleración

Se termina la actividad, deduciendo las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado. En el caso de velocidad inicial nula, la ecuación de la posición se obtiene a partir de la gráfica $v(t)$ del movimiento del coche de la Figura 6.20, calculando las áreas correspondientes a distintos intervalos de tiempo. La comparación de estos resultados con los calculados a partir de los datos proporcionados en la tabla $x-t$ permite deducir la ecuación del movimiento.

Cuando la velocidad inicial no es nula, se utiliza también la representación gráfica $v(t)$ para llegar a la ecuación del movimiento a partir del cálculo del área bajo la gráfica (Figura 6.22).

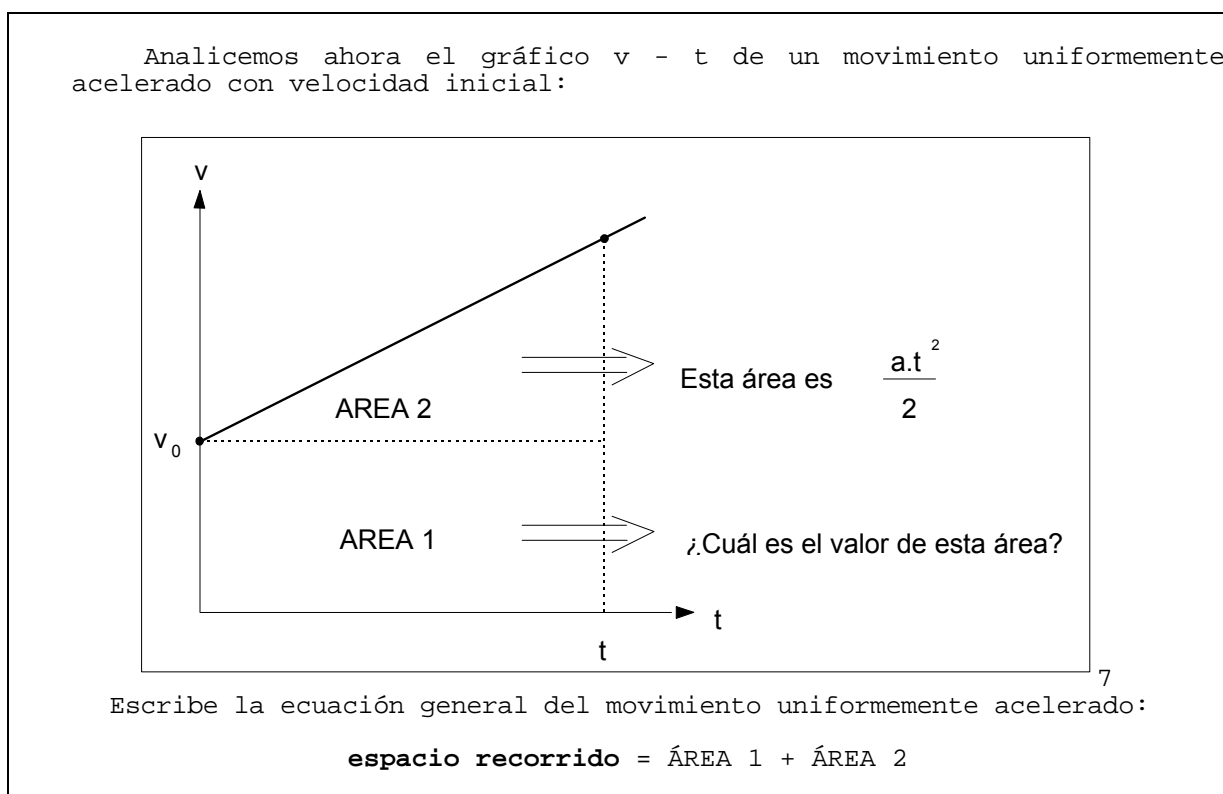


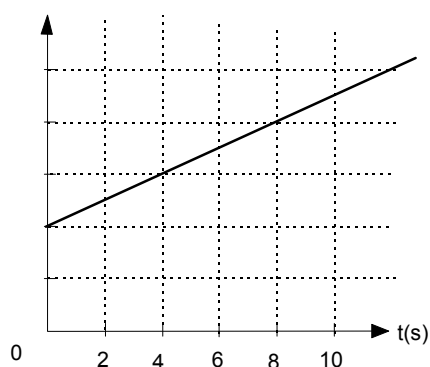
Figura 6.22. Movimiento uniformemente acelerado con velocidad inicial

Curso 94-95

Se mantuvo el tratamiento general de la actividad, eliminando el análisis de la experiencia de caída de las monedas

debido a la dificultad que tenía para los alumnos representar el movimiento en una gráfica $x(t)$ dada la imposibilidad de medir el valor real de los intervalos de tiempo.

Para profundizar en el estudio de las gráficas del movimiento, se introdujeron cuestiones como la planteada en la Figura 6.23.



a) ¿Qué movimiento representa, en tu opinión, la gráfica siguiente?

b1) ¿Qué habría que poner en el eje vertical para que el gráfico representase un movimiento uniforme con un desplazamiento inicial de 10 metros.

b2) ¿Qué velocidad llevaría en ese caso el móvil?

c1) ¿Qué habría que poner en el eje vertical para que el gráfico representase un movimiento uniformemente acelerado que parte con una velocidad inicial de 4 m/s.

c2) ¿Qué aceleración llevaría en ese caso el móvil?

Figura 6.23. Tareas de profundización

ACTIVIDAD VIII. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA DINÁMICA

- ¿De qué depende la aceleración?
- Profundización en la segunda ley de Newton
- Revisión de los conceptos fundamentales: Energía, Trabajo y Fuerza.

Duración: 5 sesiones

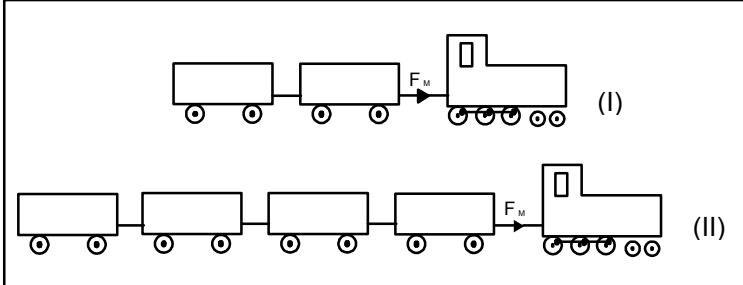
Curso 93-94

Se inicia la actividad con una revisión de la idea fundamental que se ha tratado de enseñar en las dos actividades anteriores: la condición necesaria para que varíe la velocidad

con que se mueven los cuerpos es que la fuerza resultante sea distinta de cero.

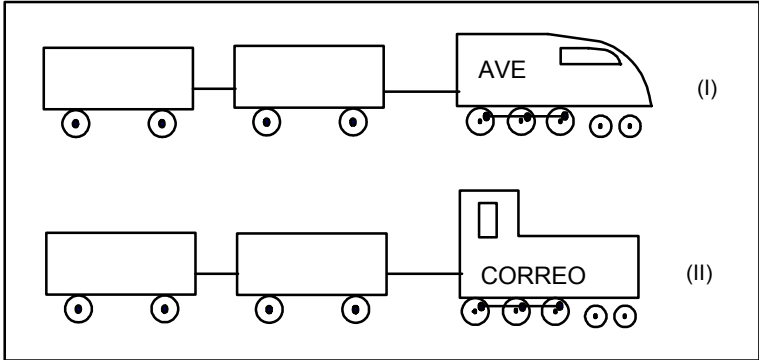
Para introducir la idea de que la aceleración depende de la masa, se utiliza el ejemplo del arranque de una máquina de tren a la que se engancha, sucesivamente, distinto número de vagones (Figura 6.24 a). La influencia de la fuerza se introduce modificando el tipo de máquina que tira de los mismos vagones (Figura 6.24 b).

La máquina de un tren, cuando arranca, tira de los vagones que tiene enganchados con la máxima fuerza que es capaz de ejercer (y que viene determinada por el modelo de la máquina: talgo, correo, ave, etc.).



a) En los casos I y II se emplea la misma máquina, ¿cuál de estos dos trenes arrancará con mayor **aceleración**?

b) La máquina del AVE tuvo una avería en sus comienzos y tuvieron que sacar los vagones con una máquina convencional.



Dibuja tú la **fuerza** de arranque con que cada una de las máquinas tira de los vagones.

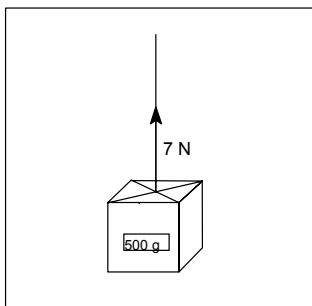
¿En qué caso arrancará con mayor **aceleración**?

Figura 6.24. Factores que influyen en la aceleración

Una vez establecida la Segunda Ley de Newton se vuelven a revisar los diferentes tipos de fuerzas que han aparecido en la Actividad IV (gravitatorias, electromagnéticas, etc.).

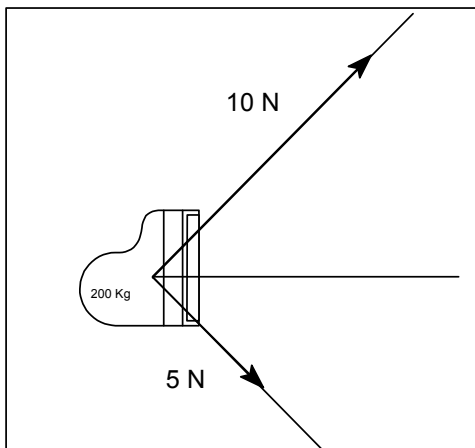
Para profundizar en esta ley se realizan varias aplicaciones donde se calcula la aceleración en casos que implican la actuación de varias fuerzas. Esto permite recalcar que en la expresión $F = m.a$, F representa la resultante de todas las fuerzas.

Determina la aceleración con que subirá un cuerpo de 500 g cuando una persona intenta elevarlo aplicando una fuerza vertical de 7N.



Antes de hacer los cálculos reflexiona sobre todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y dibújalas.

Sobre una pista de hielo se intenta trasladar un piano de 200 kg para un montaje teatral. Dos operarios que están fuera de la pista de hielo, no entienden bien el problema y se ponen a tirar simultáneamente del piano con dos cuerdas con las intensidades y las direcciones que se señala en la figura.



1) ¿En qué dirección se moverá el piano?.

2) ¿Con qué **aceleración** se desplazará?.

Figura 6.25. Aplicaciones de la segunda ley de Newton

En la versión definitiva se ampliaron los ejercicios referentes a sistemas en que actúan varias fuerzas, al apreciar la dificultad que tienen los alumnos para resolver este tipo de problemas.

Para terminar, se incluyó también una revisión sobre el significado científico de los términos Energía, Trabajo y Fuerza, utilizando las frases escritas por los propios alumnos que se habían recogido en la primera actividad de Introducción a la Energía (Capítulo 3) donde se ponían en cuestión sus ideas sobre estos conceptos. Con esta tarea se cierra la iniciación a la Física del mismo modo que se empezó, es decir, tratando que los alumnos establezcan una diferenciación clara sobre los conceptos básicos de la materia.

CUARTA PARTE
RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Capítulo 7

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

7.1. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS: MODELOS DE PRUEBAS, PROBLEMAS UTILIZADOS, ENCUESTA DE ACTITUDES Y PRUEBAS PSICOLÓGICAS

De acuerdo con la metodología utilizada en la investigación, es necesario un modelo de evaluación que cumpla las premisas de medir, no solo el aprovechamiento académico de los alumnos, sino enjuiciar también cualitativamente sus actitudes, razonamientos y habilidades. Además, tiene que aportar información sobre el papel desempeñado por el profesor a lo largo del proceso.

Como consecuencia de estas ideas, en esta investigación se ha intentado realizar una evaluación formativa en que la información adquirida sirva también para modificar los materiales diseñados. Del análisis de los datos recogidos durante el primer año de trabajo, se obtuvieron criterios para reelaborar algunas de las actividades que presentaban un grado de dificultad excesivo, tal como se ha descrito en el apartado 6.2.

Para recoger información sobre todos los objetivos de evaluación que nos hemos propuesto, se han utilizado diversos instrumentos que aparecen reseñados en la Figura 7.1 y que vamos a describir seguidamente:

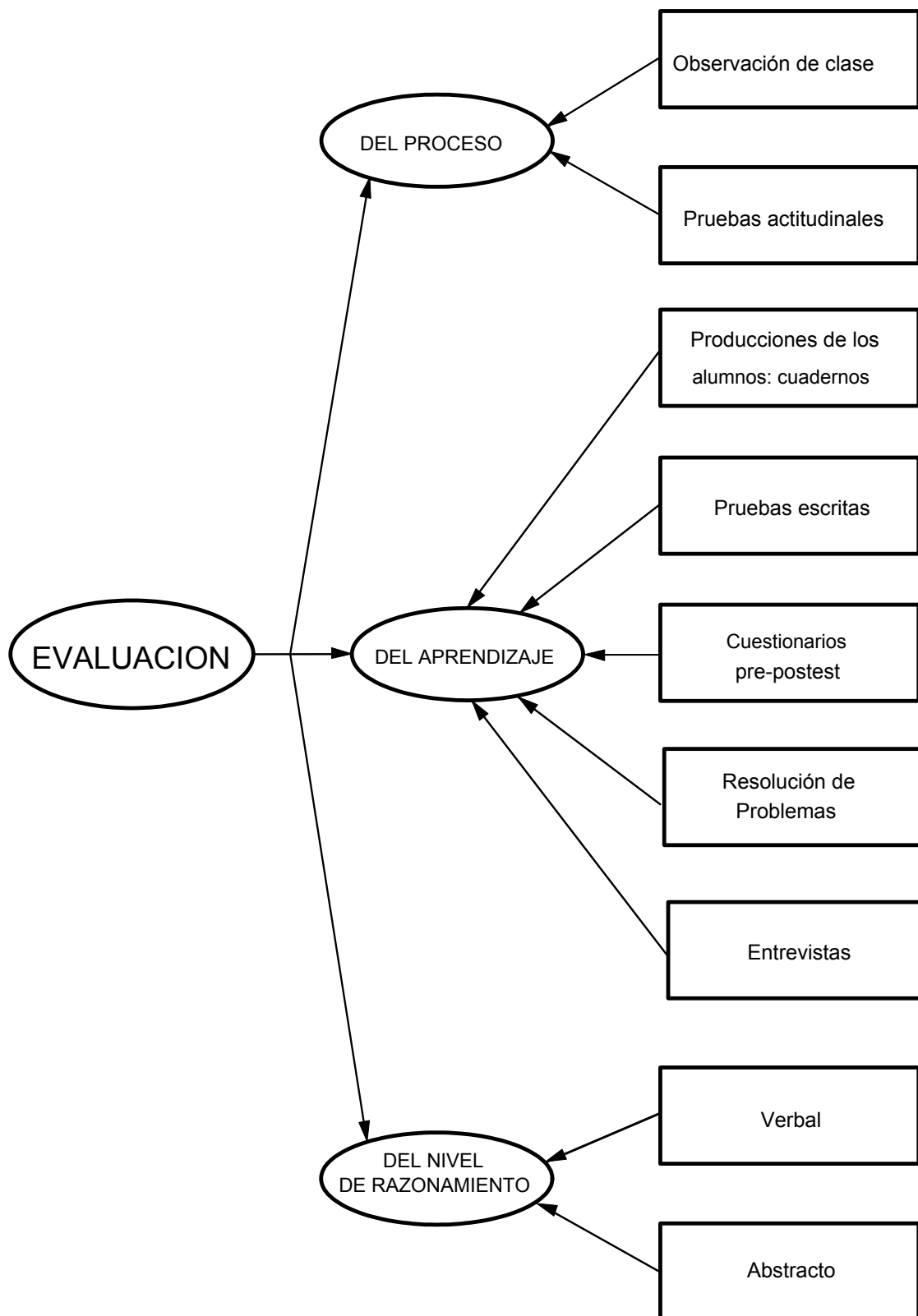


Figura 7.1. Instrumentos utilizados en la investigación para evaluar el proceso

a) Observación sistemática del trabajo realizado dentro del aula

Este tipo de observaciones proporciona datos relevantes para la evaluación y se ha centrado en una serie de puntos tales como: atención, actitud en la clase, trabajo de los equipos, comprensión, por parte de los alumnos, de los materiales en general y de cada una de las actividades en particular, así como la duración de las mismas. Como se ha comentado en detalle en el apartado 6.2, la información que se deriva de estas observaciones ha sido la base para la revisión de los materiales iniciales y su elaboración definitiva con vistas a su utilización en la fase experimental durante el curso 1994-95.

b) Cambio actitudinal

Las actitudes de los alumnos frente a la tarea que están realizando tienen una importancia fundamental en el proceso de aprendizaje. En nuestra opinión, trabajar con materiales y con la metodología que estamos proponiendo, va a promover en los alumnos una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias.

De los diversos enfoques que constituyen actualmente el panorama de las actitudes nosotros nos hemos fijado en los siguientes aspectos:

- Dificultad del aprendizaje.
- Satisfacción con la metodología de trabajo utilizada frente a la metodología tradicional.
- Utilidad de los materiales didácticos en comparación con el libro de texto.
- Trabajo en grupo.
- Relación de los tópicos desarrollados en clase con la vida fuera del aula.

La toma de datos se ha hecho mediante una encuesta de lápiz y papel de formato cerrado, en que cada pregunta se presentaba con un diferencial semántico tabulado de 1 a 3. También se les ha pedido a los alumnos una valoración general del trabajo realizado. El modelo de la encuesta empleado aparece en la Figura 7.2.

¡Error! Marcador no definido.

1. ¿El aprendizaje de todos los contenidos correspondientes a la unidad de Energía te ha resultado?	Fácil			Diffcil
	1	2	3	
2. La metodología empleada, comparada con la que normalmente se utiliza en las clases, te ha parecido?	Interesante			Aburrida
	1	2	3	
3. El tipo de materiales didácticos con que hemos trabajado, en contraposición con el libro de texto, ¿te ha facilitado el aprendizaje?	Si			No
	1	2	3	
4. El trabajo en grupo, ¿ha favorecido tu aprendizaje?	Mucho			Poco
	1	2	3	
5. El tipo de actividades que hemos desarrollado, ¿te ayudará en el futuro a resolver y comprender situaciones de tu vida cotidiana?	Si			No
	1	2	3	

Figura 7.2. Modelo de la prueba actitudinal

c) Evaluación del cambio conceptual:

Para que el aprendizaje sea significativo es necesario que los esquemas previos existentes en la mente de los estudiantes sean sustituidos por los conceptos científicos adquiridos a lo largo de las actividades, es decir, tiene que producirse un *cambio conceptual*.

La evaluación de este cambio es de tipo *criterial* y con ella se pretende medir si los alumnos han alcanzado los objetivos del aprendizaje, mediante la técnica pretest-

postest. Para determinar el posible cambio conceptual experimentado por los estudiantes se aplicaron, antes y después del trabajo en el aula con los materiales, las pruebas correspondientes a los tres esquemas conceptuales escogidos (tal como se describe y justifica en el apartado 5.2):

- M1. ESQUEMA FUERZA - ENERGÍA (Figura 5.8, página 103).
- M2. ESQUEMA CORRESPONDIENTE A LA RELACIÓN FUERZA - MOVIMIENTO EN TRAYECTORIAS RECTILÍNEAS (Figura 5.9, página 105).
- M3. ESQUEMA RELATIVO A LA DIFERENCIACIÓN POSICIÓN - VELOCIDAD EN MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS (Figura 5.10, página 106).

Como se recordará los tres niveles de valoración son los siguientes:

Nivel III - En este nivel se clasifica a los alumnos cuyas respuestas se pueden considerar científicamente aceptables dentro de las limitaciones pertinentes: problemas de lenguaje, aproximaciones escolares a la Ciencia, etc.

Nivel II - Corresponde a los estudiantes que mantienen ideas alternativas y las aplican con cierto grado de coherencia en la resolución de las distintas tareas presentadas para explorar un esquema conceptual.

Nivel I - Agrupa a todos los alumnos que aportan contestaciones no coherentes. Sus explicaciones dependen en gran medida del contexto y son, desde el punto de vista de la Física, claramente erróneas.

Estas mismas pruebas se utilizaron para evaluar, diez meses más tarde, la persistencia del cambio conceptual obtenido.

d) Entrevistas

Las entrevistas individuales son un instrumento más de la evaluación formativa ya que, con ellas, se profundiza en el pensamiento de los alumnos, del que teníamos una primera aproximación debido a que en todas las pruebas escritas se pedía un razonamiento sobre la opción escogida, pero en muchos casos las explicaciones dadas eran confusas. La muestra escogida para esta tarea ha estado constituida por una serie de los alumnos cuyas respuestas se consideraron más representativas, pidiéndoles que, con su prueba delante, intentaran explicar la razón de su elección.

Estas entrevistas se recogieron en cinta magnetofónica y, después, se transcribieron literalmente. Del estudio y análisis posterior del contenido se sacaron conclusiones sobre el razonamiento seguido por el alumno al realizar su elección.

e) Determinación del nivel de conocimiento

Para evaluar el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes que han sido sujetos de la investigación (grupo experimental), se les ha planteado la resolución de tres problemas que requerían manejar correctamente el conjunto de esquemas evaluado en el cambio conceptual. Además, los estudiantes tienen que haber adquirido una serie de destrezas consideradas básicas en los "*buenos resolventes*" de problemas tales como: planteamiento del problema, representación gráfica del mismo, cálculo y análisis de los resultados.

Para evaluar la resolución de los problemas se ha optado por establecer, para cada uno de ellos, un conjunto de variables diferentes según la naturaleza de la tarea realizada. Este concepto de variable estaría próximo a la noción de esquema en el sentido utilizado por López Rupérez e inspirado en la Psicología cognitiva: "*Para cada problema podemos identificar los diferentes esquemas de razonamiento que, a modo de estructuras unitarias relativamente independientes, configuran la resolución del problema en su conjunto. Constituye el exponente de una organización operacional del conocimiento que guía las inferencias del sujeto en la resolución de un problema o de una*

porción definida del mismo. Constituye, pues, una combinación de conocimiento declarativo y de conocimiento procedimental en la medida que supone conocimiento, comprensión y manejo conceptual " (López Rupérez, 1991, pp. 98-99). Consecuente con este planteamiento, hemos definido unas variables de contenido VC específicas para cada uno de los problemas, a las que se ha asignado el valor 0 o 1. La puntuación total para cada problema ha sido la suma de los valores de cada una de las variables que lo componen.

Los tres problemas utilizados en la investigación son considerados estándar en este nivel educativo, lo que nos ha permitido utilizar los resultados obtenidos para realizar un estudio comparativo con un grupo control, caracterizado por haber recibido lo que podemos llamar una "enseñanza tradicional". Estos problemas y los criterios con que han sido corregidos se presentan a continuación en las Figuras 7.3, 7.4 y 7.5.

Lanzamos una piedra de 0,5 kg de masa hacia arriba con una velocidad de 20 m/s. Aplicando el principio de conservación de la energía,

- a) Calcular la máxima altura alcanzada
- b) Calcular la energía cinética y potencial de la piedra cuando haya ascendido la mitad de su altura máxima

Para los cálculos se desprecia el rozamiento con el aire

Figura 7.3. Problema sobre el Principio de Conservación de la Energía Mecánica (PM1)

Este problema se ha valorado, en el sentido anteriormente definido, mediante tres variables:

VC1. Cálculo de la altura máxima.

VC2. Cálculo de la energía potencial en el punto medio del camino recorrido.

VC3. Cálculo de la energía cinética en el punto medio del camino recorrido.

La gráfica que se presenta corresponde al movimiento de una bicicleta que, desplazándose en línea recta estaba en la posición $x=0$ cuando comenzamos a contar el tiempo.

- Describe el movimiento de la bici en cada tramo
- Halla los valores de la aceleración con que se mueve
- Escribe la ecuación que relaciona la posición con el tiempo en cada tramo.
- Determina el desplazamiento en cada tramo

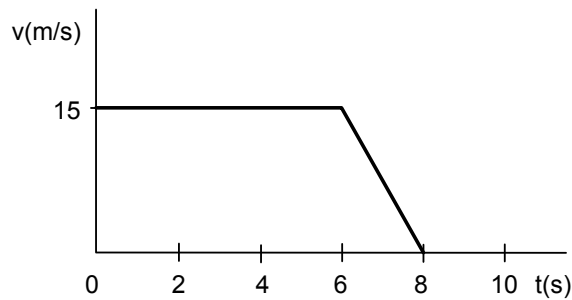


Figura 7.4. Estudio del movimiento a partir de una representación gráfica (PM2)

Las variables utilizadas en su corrección han sido:

- Caracterización del movimiento realizado en cada una de las dos etapas.
- Determinación de los dos valores de la aceleración.
- Aportación de las ecuaciones posición -tiempo correspondientes a cada uno de los tramos.
- Cálculo del desplazamiento total realizado por la bicicleta.

¿Con qué fuerza hay que tirar verticalmente hacia arriba de una masa de 4 kg para que suba con una aceleración de 2m/s^2 ?.

Realiza un diagrama de las fuerzas que actúan sobre la masa que asciende

Figura 7.5. Problema sobre el Principio fundamental de la Dinámica (PM3)

Este problema se ha considerado para su corrección como una sola unidad:

- Aplicación correcta del principio fundamental de la Dinámica, es decir reconocer sobre el cuerpo dos fuerzas: la fuerza aplicada y el peso.

f) Cuadernos de clase

Constituye uno de los instrumentos más valiosos de la evaluación ya que permite seguir el trabajo diario del alumno. En este cuaderno se recogía y pegaba todo el material suministrado en clase, así como todas las actividades que se realizaban en casa. Los cuadernos de los alumnos se revisaban periódicamente para efectuar el seguimiento del trabajo de cada uno de ellos.

En el Anexo II aparecen fotocopias de algunas muestras de algunos cuadernos de alumnos

g) Pruebas para la evaluación de las aptitudes intelectuales de los estudiantes

Se han empleado dos pruebas de la batería DAT - Tests de aptitudes diferenciales - de Bennet, Seashore y Wesman (1951). Estas pruebas son:

Razonamiento verbal: constituye una medida de la aptitud para comprender conceptos expresados mediante palabras y evalúa, preferentemente, la capacidad de abstraer y pensar de modo constructivo frente a la simple fluidez verbal o al conocimiento de vocabulario. Está construido a base de analogías y la estructura de los elementos es muy flexible, requiriendo realmente un proceso de razonamiento para su solución correcta. El vocabulario es simple y el contenido familiar; las dificultades radican en la complejidad del razonamiento requerido para establecer la relación adecuada.

Razonamiento abstracto: intenta apreciar la capacidad de razonamiento con formas no verbales. Las series que se presentan en cada problema exigen reconocer el principio operativo en base al cual se producen los cambios sucesivos de las figuras. Sólo si el alumno es capaz de descubrir dicho principio, podrá comprender la conexión lógica existente entre ellas y elegir adecuadamente el término siguiente de la serie.

Como la capacidad para razonar con palabras no es idéntica a la capacidad para razonar con figuras, el test de *Razonamiento abstracto* no sustituye al *Razonamiento*

verbal, pero puede servir como elemento de confrontación con éste cuando se sospeche la existencia de dificultades de lenguaje.

Estas pruebas pretenden medir las aptitudes con la mayor independencia posible del nivel académico del individuo. Además, pueden aplicarse separadamente puesto que se ha estudiado la fiabilidad, validez y tipificación de cada una de ellas. Son aplicables a partir de alumnos del último curso de la actual E.G.B. y han sido tipificadas para los distintos cursos escolares, tanto para mujeres como para hombres. El coeficiente de fiabilidad - índice de correlación de Spearman-Brown - oscila alrededor de 0,94 para alumnos de 16 años.

Los alumnos han sido clasificados en cuatro categorías de acuerdo con el percentil asignado en la corrección de las pruebas.

7.2. Evaluación del cambio conceptual en el estudio piloto 1993 - 1994

En el curso 1993-94 se llevaron al aula los materiales correspondientes a la Energía Mecánica en lo que hemos llamado su primer diseño (ver apartado 6.2), realizándose una toma de datos con una muestra piloto constituida por 57 alumnos de 2º de B.U.P. en un Instituto de Bachillerato de Madrid.

En la Tabla 7.1 se presentan los resultados obtenidos, expresados en tanto por ciento, para cada uno de los esquemas explorados, utilizando los niveles definidos en el apartado anterior.

Nivel	Nivel I		Nivel II		Nivel III	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final

Esquema	%	%	%	%	%	%
M1	28,1	12,7	66,6	51,0	5,3	36,3
M2	56,1	9,9	38,6	53,0	5,3	37,0
M3	45,6	26,3	38,6	47,4	15,8	26,3
MEDIA	43,2	16,3	48,0	50,5	8,8	33,0

Tabla 7.1. Resultados del estudio piloto para los esquemas conceptuales en Mecánica. Evaluación inicial - final

Un análisis cualitativo de los datos nos lleva a afirmar que al final del proceso, una media de un 33% de los estudiantes pertenecientes a la muestra piloto, consiguen el nivel de respuestas científicamente correcto (Nivel III). Destaca que un 50% de los sujetos sigue utilizando esquemas conceptuales alternativos a pesar de la instrucción. En cuanto a la persistencia de estos esquemas, los resultados de la prueba M2 ponen de manifiesto que un 53% de los estudiantes siguen manteniendo que *"siempre existe una fuerza en la dirección de la velocidad."*

Para contrastar la hipótesis propuesta de que el trabajo con este tipo de materiales iba a producir un cambio conceptual significativo, vamos a realizar, en primer lugar, una análisis cualitativo comparando los datos recogidos en la evaluación de diagnóstico con los hallados al final del proceso. A partir de los datos que aparecen en la Tabla 7.1, hemos representado en la Figura 7.6 el número de estudiantes que ha dado respuestas científicamente correctas, para cada uno de los esquemas conceptuales, antes y después del tratamiento.

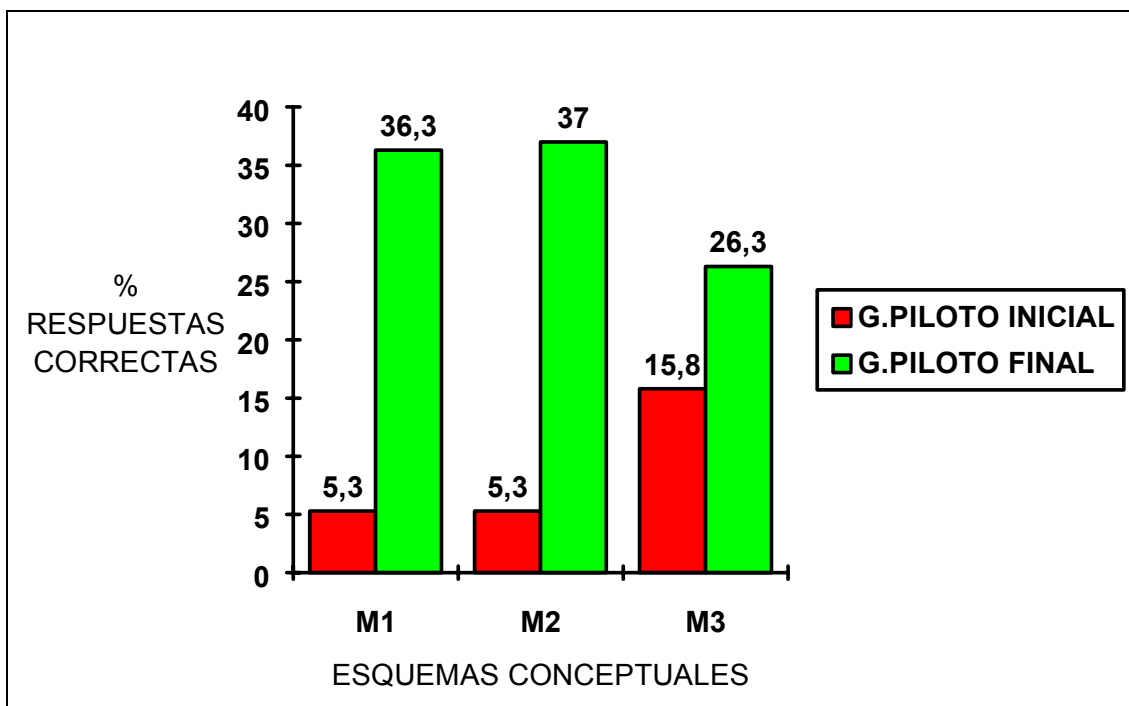


Figura 7.6. Evolución de los esquemas conceptuales en Mecánica para el Grupo Experimental (EXP) Piloto

De su observación podemos deducir lo siguiente: para cada uno de los esquemas conceptuales aparece una clara diferencia entre ambas situaciones siempre a favor del final del proceso. El aumento medio producido ha sido de 24,4 puntos sobre cien, aunque hay que destacar que en el esquema conceptual *M3 - diferenciación posición/velocidad en movimientos rectilíneos* - el resultado ha sido 10 puntos inferior a los otros dos, dato que hay que analizar observando que inicialmente es la prueba que presentaba mayor porcentaje de respuestas correctas.

Con el fin de explorar si las diferencias observadas entre la evaluación inicial y final son significativas desde un punto de vista estadístico, se realizó un análisis mediante la prueba de rangos señalados y pares iguales de Wilcoxon. Esta prueba nos ha permitido rechazar la hipótesis nula (enunciada en términos de no existencia de diferencias significativas) en los porcentajes de respuesta obtenidos por los estudiantes antes y después de trabajar con los materiales diseñados. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 7.2.

	Final	M1	M2	M3
Inicial				
M1		3,0 ^{***}		
M2			4,675 ^{***}	
M3				2,614 ^{**}

*** p < 0.001 ** p < 0.01

Tabla 7.2. Prueba de Wilcoxon, diferencias inicial-final de los esquemas en Mecánica. Grupo Experimental Piloto.

Los datos de esta tabla corroboran, en general, los resultados deducidos en el análisis cualitativo, poniendo de manifiesto que se han producido cambios conceptuales significativos para todos los esquemas conceptuales estudiados, con un error menor del 1% (nivel de significación que hemos escogido en este trabajo), observándose que en dos de los casos podemos rechazar la hipótesis nula con un error menor del 1% .

Estos resultados, unidos a la información obtenida de la observación de las clases, nos condujeron a introducir las modificaciones que se han descrito detalladamente en el apartado 6.2, pero manteniendo el esquema troncal de las actividades y la metodología de trabajo en el aula que, como acabamos de comentar, han producido un cambio conceptual muy satisfactorio.

7.3. Evaluación del cambio conceptual en el grupo experimental. 1994 -1995

Como consecuencia de los resultados obtenidos en el estudio piloto realizado en el curso 1993-94 y con los materiales correspondientes a la Energía Mecánica revisados, se llevó a cabo la experimentación con 84 alumnos de segundo de B.U.P. de las características descritas en el apartado 2.4.

Para el estudio del cambio conceptual se han utilizado las mismas pruebas que en el estudio piloto, completándose con entrevistas individuales grabadas en audio y posteriormente transcritas. Los resultados correspondientes para los 84 alumnos que

constituyen el grupo experimental de esta investigación aparecen en la Tabla 7.3 especificando el porcentaje de respuestas categorizadas en cada uno de los tres niveles de contestación definidos, tanto en la evaluación de diagnóstico como en la final.

Nivel Esquema	Nivel I		Nivel II		Nivel III	
	Inicial %	Final %	Inicial %	Final %	Inicial %	Final %
M1	39,3	11,9	51,2	34,5	9,5	53,6
M2	40,5	14,3	57,1	42,8	2,4	42,9
M3	35,7	21,4	34,5	16,7	29,7	61,9
MEDIA	38,5	15,9	47,6	31,3	13,8	52,8

Tabla 7.3 Resultados del Grupo Experimental para los esquemas conceptuales en Mecánica. Evaluación inicial - final

El análisis cualitativo de los datos pone de manifiesto que al final del proceso, una media de aproximadamente un 53% de los estudiantes han alcanzado el nivel de respuestas científicamente correctas. En general, los datos encontrados, son mejores que los obtenidos con alumnos de estos niveles educativos, tal como vimos en el cuando presentamos la revisión bibliográfica en este campo (Capítulo 5), por lo que se puede empezar a pensar en la eficacia de los materiales diseñados en lo que se refiere al cambio conceptual.

En la persistencia del uso de los esquemas alternativos por nuestros estudiantes, hay que destacar que un 31% de los alumnos mantienen estos esquemas después del proceso, lo que nos da una medida de la dificultad que tiene para ellos experimentar un cambio conceptual en un campo tan complejo como la Mecánica newtoniana. Este hecho quedó ampliamente argumentado en el Capítulo 1 cuando se hizo referencia a las distintas teorías sobre el cambio conceptual, poniendo de manifiesto las dificultades para que se produzca el citado cambio en el contexto escolar.

Por último, en lo que se refiere al esquema *M2 - relación fuerza/movimiento* - que, como se ha comentado en la bibliografía, es considerado por muchos investigadores una cuestión clave para comprender correctamente la Mecánica, los resultados encontrados en la evaluación inicial (con sólo un 2,4% de estudiantes contestando en forma correcta y un 40% en el nivel más bajo, asociado a respuestas no coherentes o simplemente a la falta de respuestas), son una nueva indicación de la dificultad de un aprendizaje correcto. Esta idea viene apoyada por el hecho de que la idea alternativa explorada en esta prueba - "*necesariamente existe una fuerza en la dirección de la velocidad del móvil*" - con un porcentaje de respuestas del 57% antes del proceso de enseñanza, se mantiene en un 43% al final del mismo, dato no excesivamente alentador aunque coincide con los aportados en los trabajos anteriormente comentados en la revisión bibliográfica (ver apartado 5.2.).

Tal como se ha comentado en el apartado 7.1, para profundizar en las ideas de los estudiantes se realizaron entrevistas pretest/postest a tres de los alumnos cuyas respuestas se consideraron más representativas. Aunque la transcripción de las mismas se presenta en el ANEXO I, aquí se recogen algunas frases que dan idea de la dificultad de los estudiantes para conseguir un cambio eficaz. Por ejemplo, en la utilización, ya comentada, del esquema alternativo "*fuerza en la dirección del movimiento*", los entrevistados opinan: "*pues yo....según lo que había estudiado, creía que al lanzar la pelota hacia arriba se ejercía una fuerza en la dirección en que se la había lanzado.....*" ó "*al tirar la pelota hacia arriba se aplicaba una fuerza hacia arriba y había un momento en que se paraba y yo creía que no se ejercía ninguna fuerza sobre la pelota. Y luego, hacia abajo la tierra*". En relación a la confusión fuerza/energía, un alumno dice: "*cuanta más inclinación tiene la rampa yo suponía que necesitaría más fuerza. Y en ese caso gasta más energía porque al tener que hacer más fuerza me imaginé que a más fuerza más energía*". En el postest, ese mismo alumno contestaba de forma mucho más correcta: "*si la rampa está más inclinada, hay que hacer más fuerza. Pero en ambos casos (rampa más inclinada y menos inclinada) la energía es la misma porque como la fórmula del trabajo era fuerza por espacio, pues aunque aquí tenía la mitad de espacio tenía que hacer más fuerza y aquí tenía que hacer menos fuerza pero tenía el doble de espacio. La energía la asocié con el trabajo, como era el mismo, pues era la misma energía*".

A pesar de los comentarios realizados, la contrastación de la hipótesis de partida sobre que el trabajo con este tipo de materiales iba a producir un cambio conceptual significativo, va a arrojar resultados muy satisfactorios. Comencemos por realizar, en primer lugar, un análisis cualitativo comparando los datos iniciales con los finales para todos los esquemas estudiados. A partir de los datos que aparecen en la Tabla 7.3 vamos a representar en la Figura 7.7 el número de estudiantes que han dado respuestas científicamente correctas, para cada uno de los esquemas conceptuales, antes y después del proceso de experimentación.

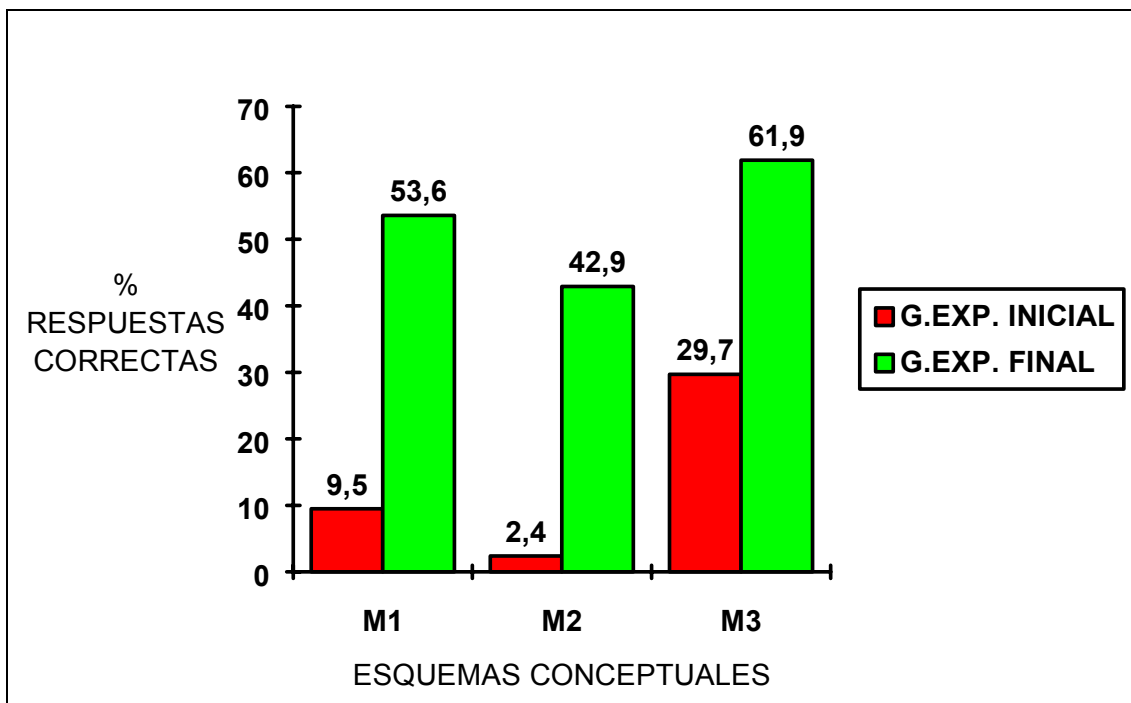


Figura 7.7. Evolución de los esquemas conceptuales en Mecánica para el Grupo Experimental

De la observación de la figura podemos destacar que aparece una diferencia amplia entre el antes y el después, siempre a favor del final del proceso, diferencia que se puede cuantificar en un aumento medio de aproximadamente 39 puntos sobre cien.

Con el fin de explorar si las diferencias observadas entre la evaluación inicial y final son significativas desde un punto de vista estadístico, los resultados se analizaron

de nuevo mediante la prueba de Wilcoxon. Esta prueba nos ha permitido rechazar la hipótesis nula (enunciada en términos de no existencia de diferencias significativas) en los porcentajes de respuesta obtenidos por los estudiantes antes y después de trabajar con los materiales diseñados. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 7.4

	Final	M1	M2	M3
Inicial				
M1		5,362 ^{***}		
M2			5,115 ^{***}	
M3				3,299 ^{***}

*** p < 0.001

Tabla 7.4. Prueba de Wilcoxon, diferencias inicial-final de los esquemas en Mecánica. Grupo Experimental

Los datos de esta tabla corroboran, en general, los resultados que hemos deducido en el análisis cualitativo realizado, poniendo de manifiesto que se han producido cambios conceptuales significativos para todos los esquemas conceptuales estudiados, todos ellos con un error menor del 1%, por encima del 1%, nivel de significación que hemos escogido en este trabajo.

Para concluir, podemos afirmar que, a pesar de la enorme dificultad que entraña el cambio conceptual en el área que hemos estudiado, los resultados obtenidos en nuestra investigación confirman inequívocamente que, el aprendizaje realizado por los estudiantes del grupo experimental a partir de los materiales diseñados, **ha producido un cambio conceptual altamente significativo en su nivel de conocimiento en Mecánica.**

7.4. Persistencia del cambio conceptual

De acuerdo con el diseño de la investigación, donde se recogía la idea, ampliamente compartida por los investigadores en este campo, de que las ideas

originales de los estudiantes vuelven a implantarse, en mayor o menor grado, al cabo de cierto tiempo de haber recibido la instrucción, a los diez meses de terminar el proceso de enseñanza-aprendizaje, se procedió a realizar una exploración para determinar cual era, en ese momento, el mapa conceptual de los estudiantes que han constituido el grupo experimental.

La muestra utilizada para el estudio de la citada persistencia se redujo a 66 estudiantes, 18 menos de los que habían constituido el grupo experimental, imposibles de localizar. Los resultados obtenidos, organizados de la misma forma que en el apartado anterior, se presentan en la Tabla 7.5.

Nivel	Nivel I	Nivel II	Nivel III
	Recuerdo	Recuerdo	Recuerdo
Esquema	%	%	%
M1	13	38	49
M2	15,2	53,5	31,3
M3	23,7	22	54,3
MEDIA	17,3	37,8	44,9

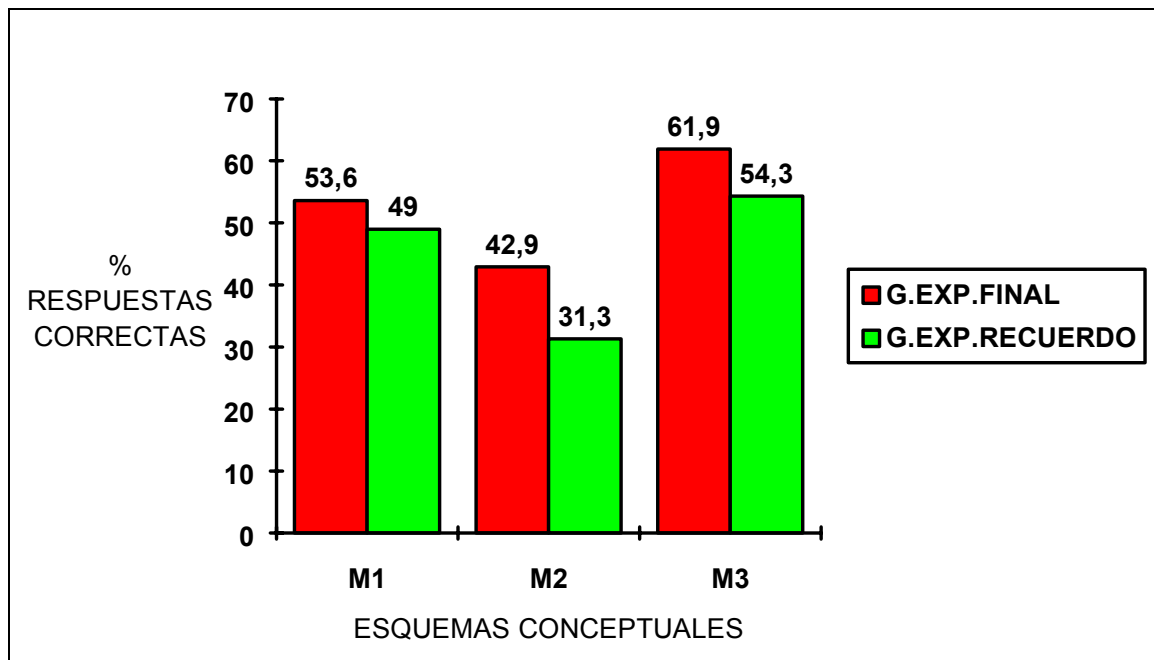
Tabla 7.5. Evaluación de recuerdo. Grupo Experimental

Esquemas conceptuales de Mecánica.

Si se comparan de estos datos con los presentados en la Tabla 7.3, se observa una disminución del número de estudiantes que, por término medio, estaban en el Nivel III, correspondiente a esquemas coincidentes con los aportados por la Ciencia escolar, pasándose de un 62% a un 45%. Este descenso repercute en un aumento del número de sujetos que se pueden encuadrar en el Nivel II, es decir, un 17% de los estudiantes han vuelto a utilizar un esquema alternativo. Este hecho queda recogido claramente en lo que se refiere al esquema M2: la prueba recuerdo muestra que un 53,5% de los estudiantes, 10% más que al final del proceso, utilizan la idea alternativa de que existe siempre una fuerza paralela a la velocidad cuando un cuerpo está en movimiento.

Por último, el número de alumnos que se mantienen en el Nivel I, correspondiente a respuestas incoherentes, es aproximadamente del 17%, similar al aparecido al final del proceso de aprendizaje.

Una representación gráfica del estudio comparativo realizado aparece en la Figura 7.8 en lo que al porcentaje de respuestas correctas se refiere.



**Figura 7.8. Comparación de la evaluación final-recuerdo en Mecánica
Grupo Experimental**

A fin de comprobar si las diferencias que acabamos de describir son estadísticamente significativas, se ha utilizado de nuevo la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7.6.

	Final	M1	M2	M3
Recuerdo				
M1		1,426		
M2			2,821**	
M3				1,793*

**p < 0.01

*p < 0.05

Tabla 7.6. Prueba de Wilcoxon, diferencias final-recuerdo

en los esquemas de Mecánica. Grupo experimental

Si se mantiene el nivel de significación que se ha venido utilizando para analizar los resultados, 1%, se puede concluir que con el paso del tiempo no se han producido diferencias significativas en dos de los esquemas conceptuales estudiados. En el tercer esquema, el ya comentado M2, el retroceso producido es estadísticamente significativo, dato que vuelve a ahondar en la dificultad del concepto a que hace referencia.

Como conclusión de todo lo anterior, se puede afirmar que, **el estudio de la Energía Mecánica con los materiales diseñados en la investigación y la metodología propuesta, ha producido en los estudiantes un cambio conceptual persistente en el tiempo, en dos de los tres esquemas estudiados.**

7.5. Evaluación del aprendizaje a partir de los problemas. Comparación con el grupo control

En concordancia con el planteamiento de la investigación, estábamos interesados en evaluar el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes que han sido sujetos de la investigación, grupo experimental, a partir de su capacidad para resolver problemas cuya solución requiere manejar correctamente el conjunto de esquemas evaluados en el apartado de cambio conceptual.

Por otra parte, también se deseaba comparar el nivel adquirido por los alumnos sujetos de la investigación, en cuanto a la resolución de problemas se refiere, con el adquirido por los estudiantes de este nivel educativo que trabajan con metodologías que pueden considerarse tradicionales en nuestras aulas. Debido a ésto se han escogido problemas estándar de los utilizados habitualmente en las clases y en los exámenes o pruebas de suficiencia. Hay que llamar la atención sobre el hecho de que, en la metodología utilizada por las profesoras investigadoras para trabajar dentro del aula, no se dedica demasiado tiempo a resolver problemas estándar de forma repetitiva, técnica

utilizada usualmente por los profesores de Física con el ánimo de que los estudiantes 'reconozcan" los problemas a la hora de tener que resolverlos.

Como se recordará (apartado 7.1), los problemas y las variables definidas para su corrección son:

- PM1. Cálculo de la altura máxima alcanzada por una piedra lanzada hacia arriba con velocidad inicial vertical. (Figura 7.3, página 145).
- VC1. Cálculo de la altura máxima.
 - VC2. Cálculo de la energía potencial en el punto medio del camino recorrido.
 - VC3. Cálculo de la energía cinética en el punto medio del camino recorrido.
- PM2. Estudio de un movimiento uniformemente acelerado a partir del gráfico $v(t)$ (Figura 7.4, página 146).
- VC1. Caracterización del movimiento realizado en cada una de las dos etapas.
 - VC2. Determinación de los dos valores de la aceleración.
 - VC3. Aportación de las ecuaciones posición -tiempo correspondientes a cada uno de los tramos.
 - VC4. Cálculo del desplazamiento total realizado por la bicicleta.
- PM3. Cálculo de la fuerza necesaria para producir un movimiento ascendente uniformemente acelerado. (Figura 7.5, página 146).
- VC1. Aplicación correcta del principio fundamental de la Dinámica, es decir reconocer sobre el cuerpo dos fuerzas: la fuerza aplicada y el peso.

Como ya se indicó, a las variables de contenido VC se les ha asignado el valor 0 ó 1 y la puntuación total para cada problema se ha calculado sumando los valores obtenidos por el alumno para cada una de las variables que lo componen. Por tanto, la puntuación máxima posible para el PM1 es 3, para PM2 es 4 y para PM3 es sólo 1.

Resultados para el Grupo Experimental

El análisis se inicia con los resultados correspondientes al Grupo Experimental formado, como ya se ha señalado por una muestra de 84 alumnos (Figura 7.9).

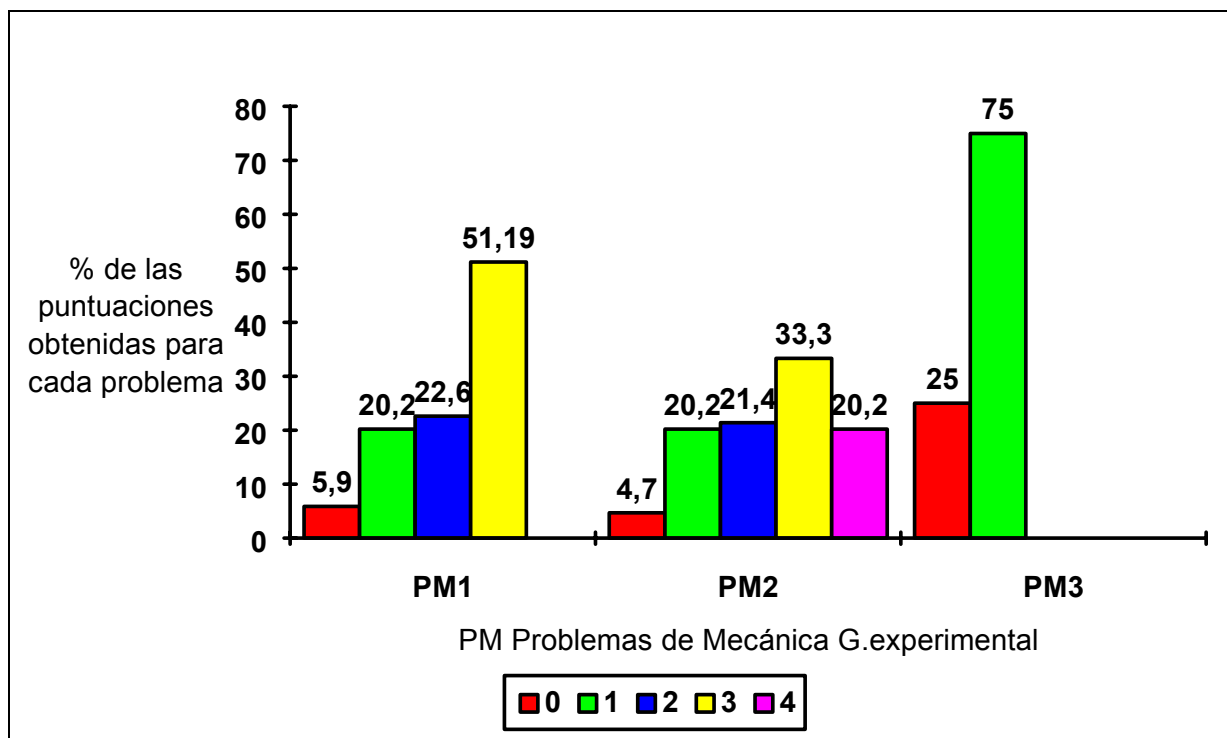


Figura 7.9. Resultados de los problemas de Mecánica para el Grupo Experimental

Si se analiza por separado los resultados correspondientes a cada uno de los problemas se observa que, para el problema PM1, basado en la utilización del Principio de Conservación de la Energía Mecánica, un 51% de los estudiantes consiguen resolverlo correctamente y solo el 6% fallan totalmente. Este resultado supone un manejo importante del citado principio, dato para nosotros muy importante ya que era una de los objetivos clave que nos habíamos planteado a la hora de diseñar los materiales. Volveremos a este punto cuando analicemos los resultados obtenidos en el Grupo control.

Otro resultado llamativo es el obtenido en el problema PM3, que supone la aplicación de la segunda ley de Newton: el 75% de los estudiantes lo resuelven perfectamente, lo cual representa un reconocimiento correcto de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo que asciende.

En cambio, los resultados para el segundo de los problemas, un caso clásico de Cinemática para este nivel educativo, no son demasiado optimistas: únicamente el 20% de los alumnos consiguen un resultado totalmente correcto, aunque si consideramos la

suma de las dos últimas columnas nos acercamos al 53%. ¿Cuál es la clave de este resultado?. Si se analizan con detalle los datos, se puede observar que los estudiantes, considerados en su conjunto, no tienen una dificultad excesiva en analizar la gráfica (destreza en la que se ha insistido mucho a lo largo del curso), ni tampoco en calcular los valores de la aceleración en cada tramo. La dificultad aparece cuando tienen que escribir la ecuación del movimiento para cada uno de los tramos, identificando cuáles son las constantes que tienen que calcular y cuáles las variables que deben dejar como tales. En lo que se refiere al cálculo de los desplazamientos, un porcentaje de alumnos lo resuelven por el método gráfico de calcular las áreas con lo que obtienen un resultado correcto a pesar de no haber acertado con las ecuaciones.

Comparación con el Grupo Control

El grupo control ha estado constituido por 35 alumnos del mismo nivel educativo que el grupo experimental, los cuales resolvieron los tres problemas a que hemos venido aludiendo. Los resultados correspondientes aparecen en la Figura 7.10.

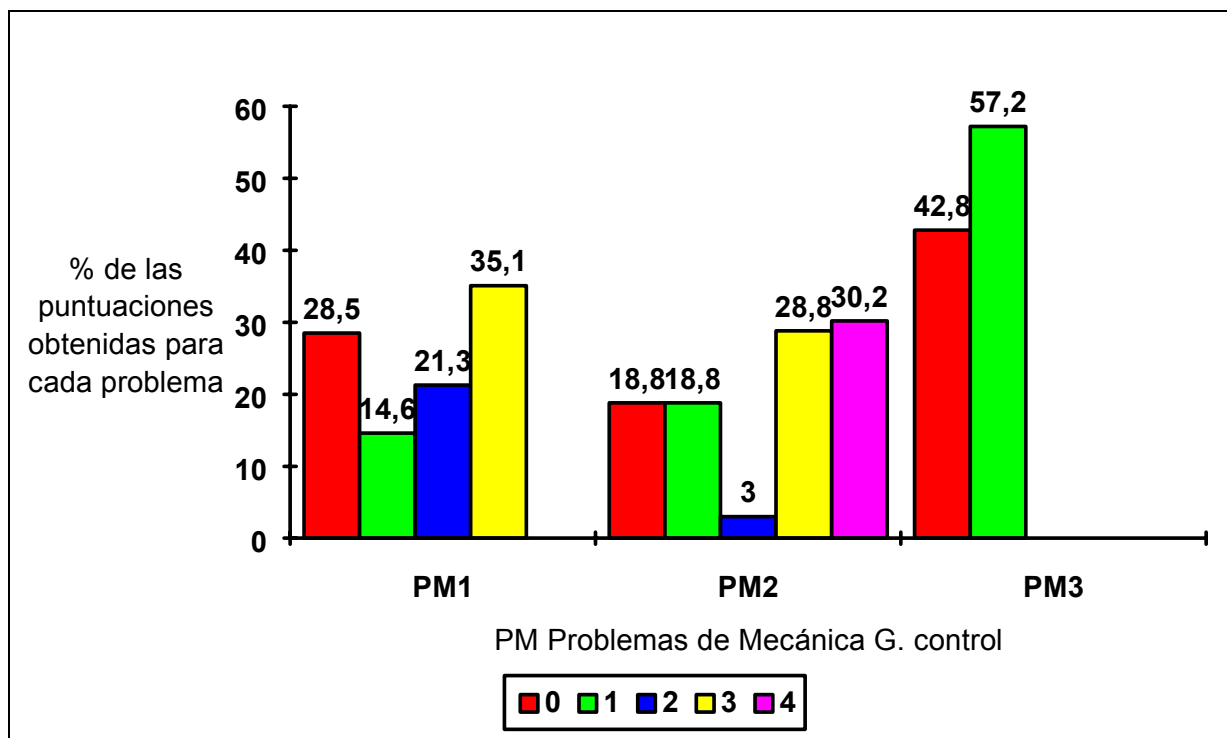


Figura 7.10. Resultados de los problemas de Mecánica para el Grupo Control

Un análisis cualitativo muestra que se han obtenido resultados sensiblemente inferiores para el primer y tercer problema mientras que, en el relativo a la Cinemática, los alumnos del grupo control han resuelto mejor el problema que los experimentales. Para realizar el estudio comparativo entre ambas muestras, se realizó la prueba U de Mann-Whitney , cuyos resultados aparecen en la Tabla 7.7.

Experimental	PM1	PM2	PM3
Control			
PM1	2,731**		
PM2		0,921	
PM3			2,292**

**p < 0.01

**Tabla 7.7. Prueba U de Mann-Whitney, diferencias resolución de problemas
Grupo Experimental - Grupo Control**

Los valores obtenidos muestran que hay diferencias favorables al grupo experimental en dos de los tres problemas estudiados con un nivel de significación del 1%. Estos datos, unidos a lo ya comentado en los análisis cualitativos, corroboran nuestra hipótesis de que **trabajar con los materiales diseñados para estudiar la Energía Mecánica favorece en términos generales la capacidad de resolver problemas en ese campo, a pesar de la menor cantidad de tiempo que, en este modelo de enseñanza, se dedica propiamente a la resolución de problemas estándar.** El resultado favorable al grupo control en la resolución del problema de Cinemática quizás sea achacable al entrenamiento específico que en la enseñanza tradicional suele darse a este tipo de tareas.

7.6. Relación entre la capacidad de resolver problemas y el nivel conceptual de los alumnos

La finalidad principal de nuestra investigación ha sido comprobar que el trabajo con el modelo de enseñanza descrito en el Capítulo 1 y los materiales didácticos elaborados a partir de esas premisas, iba a producir en los estudiantes un cambio conceptual significativo. En el apartado anterior hemos comprobado como, además, los estudiantes pertenecientes al grupo experimental han conseguido resolver problemas con mayor eficacia que los del grupo control lo que constituye un buen resultado.

Como consecuencia de todo lo anterior, en este apartado nos proponemos comprobar si existe una relación significativa entre el nivel conceptual alcanzado por los sujetos del grupo experimental, medido por las puntuaciones alcanzadas en el postest, y su eficacia como resolventes de problemas, medida por los niveles de acierto en la resolución de los mismos. Para este estudio se ha utilizado el coeficiente de correlación de Spearman, calculando la probabilidad asociada a fin de determinar el nivel de significación obtenido. Los resultados se presentan en la Tabla 7.8.

Esquema conceptual	Problemas		
	PM1	PM2	PM3
M1	0,31 ^{**}	0,33 ^{**}	0,30 ^{**}
M2	0,13	0,21 [*]	0,35 ^{**}
M3	0,41 ^{***}	0,43 ^{***}	0,53 ^{***}

***p < 0.001 **p < 0.01 *p < 0.05

Tabla 7.8. Coeficientes de correlación de Spearman entre resolución de problemas y nivel conceptual. Grupo Experimental

Como puede observarse, si se escoge el nivel de significación del 1%, se puede afirmar que existe relación en siete de los nueve casos estudiados, obteniéndose valores aceptablemente altos para trabajos de investigación en el área educativa.

Podemos concluir **que los alumnos que obtienen un mapa conceptual más próximo al defendido por la Ciencia, son también los mejores "resolventes" de problemas.** Esta conclusión pone de relieve la importancia que tiene para la resolución de problemas, la adquisición de conceptos básicos en Física, así como una correcta diferenciación entre ellos.

7.7. Evaluación de las actitudes

Los aspectos actitudinales se han recogido mediante la encuesta presentada en la Figura 7.2 (página 142) y los resultados obtenidos, tabulados en tantos por ciento se muestran en la Tabla 7.9

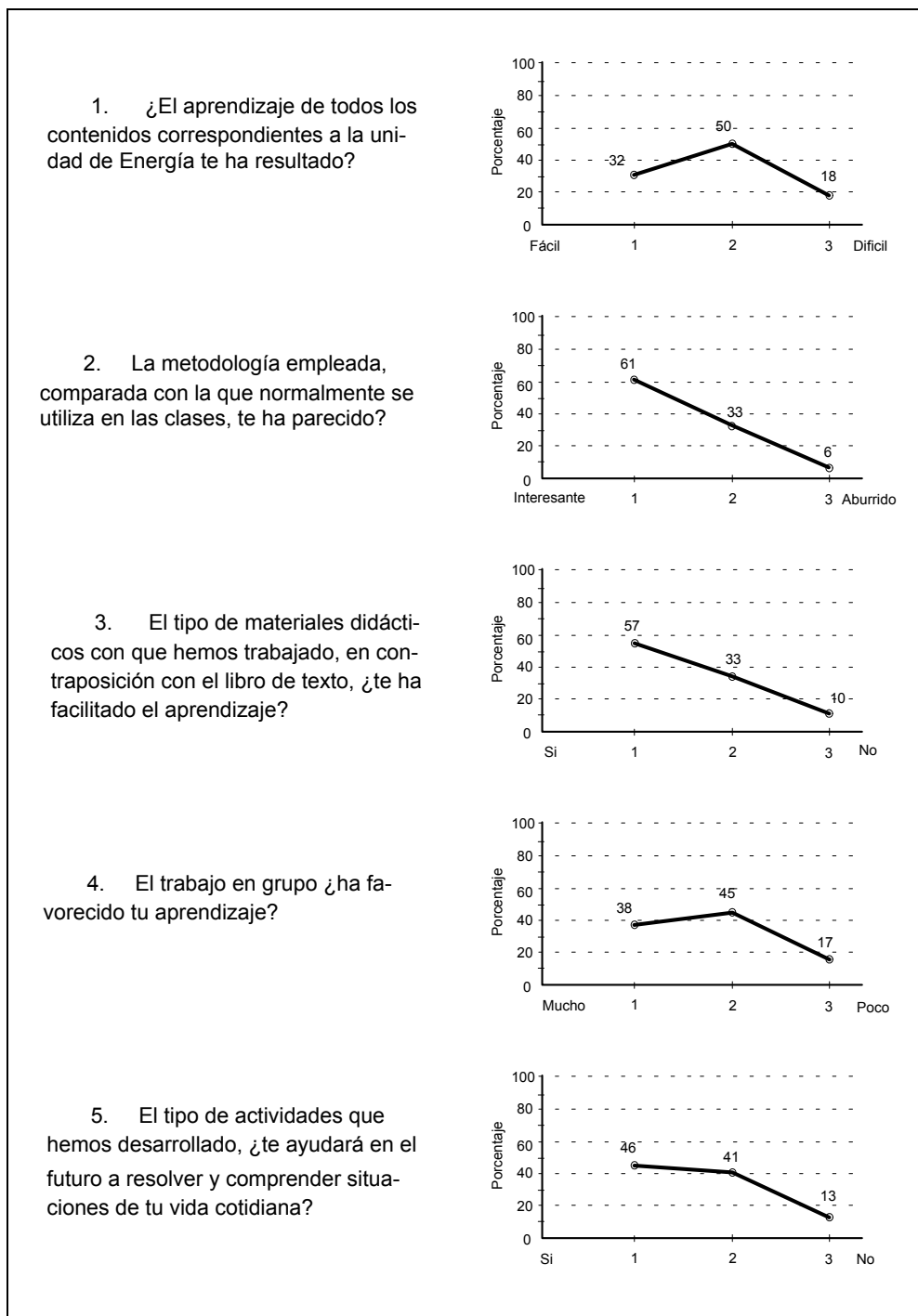


Tabla 7.9. Resultados obtenidos en la prueba actitudinal. Grupo Experimental

Con ánimo de profundizar en la opinión de los alumnos, se les pidió una valoración global sobre el trabajo realizado. A continuación se presenta un conjunto de las valoraciones obtenidas.

Aportaciones positivas:

- *Nunca había estudiado así y pienso que lo he comprendido mejor y más fácilmente.*
- *Yo creo que, en general, es más fácil y divertido el método usado, ya que el dejar el libro no sólo es un cambio, sino que también es más entretenido.*
- *El trabajo en grupo también resulta positivo, ya que no sólo aclaras las ideas que se te ocurren, sino que al trabajar en grupo aclaras todo.*
- *Me ha parecido una cuestión muy importante y me ha hecho un poco más fácil el aprendizaje de la Física, aunque reconozco que todavía me cuesta un poco. Ha sido una buena técnica para estimular a los alumnos y hacer la asignatura más fácil y comprensible.*
- *Todas las actividades correspondientes a la Física me han hecho pensar en cosas que antes no valoraba. Me ha parecido interesante todo lo que he estudiado y recuerdo todo lo que he dado.*
- *Este año me ha resultado la Física mucho más fácil que otros años. El material entregado a lo largo del curso, me ha facilitado las cosas, y creo que sirve para plantearte cosas de la vida cotidiana.*
- *La clase era más comunicativa y dialogada, pudiendo confrontar opiniones distintas y aclarar dudas*
- *Es muy interesante el trabajar en grupo ya que la clase resulta más amena*
- *El modo de dar la clase me parece muy bueno, se hace ameno y aprendes cosas interesantes.*
- *Estoy repitiendo y me he dado cuenta que el programa es el mismo que el año anterior y sin embargo me ha parecido mucho más sencillo*

Aportaciones negativas

- *La forma de dar clase me ha despistado un poco, ya que nunca había dado clase así y no seguíamos un orden como en otros cursos.*

- *No he estudiado demasiado y lo poco que he intentado no me he enterado casi de nada y me ha parecido un poco difícil*

Como conclusión podemos indicar que **los materiales didácticos diseñados y la metodología empleada en el aula son, generalmente, aceptados por los alumnos. Según ellos, el aprendizaje resulta más sencillo y les ayuda a entender fenómenos cotidianos.**

7.8. Interacción de las diferencias individuales en el proceso de aprendizaje

Tal como se había previsto en el diseño de la investigación, se ha estudiado la posible influencia de las diferencias individuales, desde una perspectiva cognitiva, en la respuestas de los sujetos cuando trabajan dentro de los presupuestos investigativos que hemos diseñado. En concreto se han seleccionado como variables que pueden influir, el nivel de desarrollo de razonamiento verbal y de razonamiento abstracto, así como el sexo de los individuos.

Para medir los niveles de razonamiento citados, se han utilizados las pruebas correspondientes de la batería DAT, descritas en el apartado 7.1 (página 147), obteniéndose los resultados que aparecen en la Figura 7.11 y que muestra una distribución similar de los alumnos en los diferentes percentiles en que han sido distribuidos.

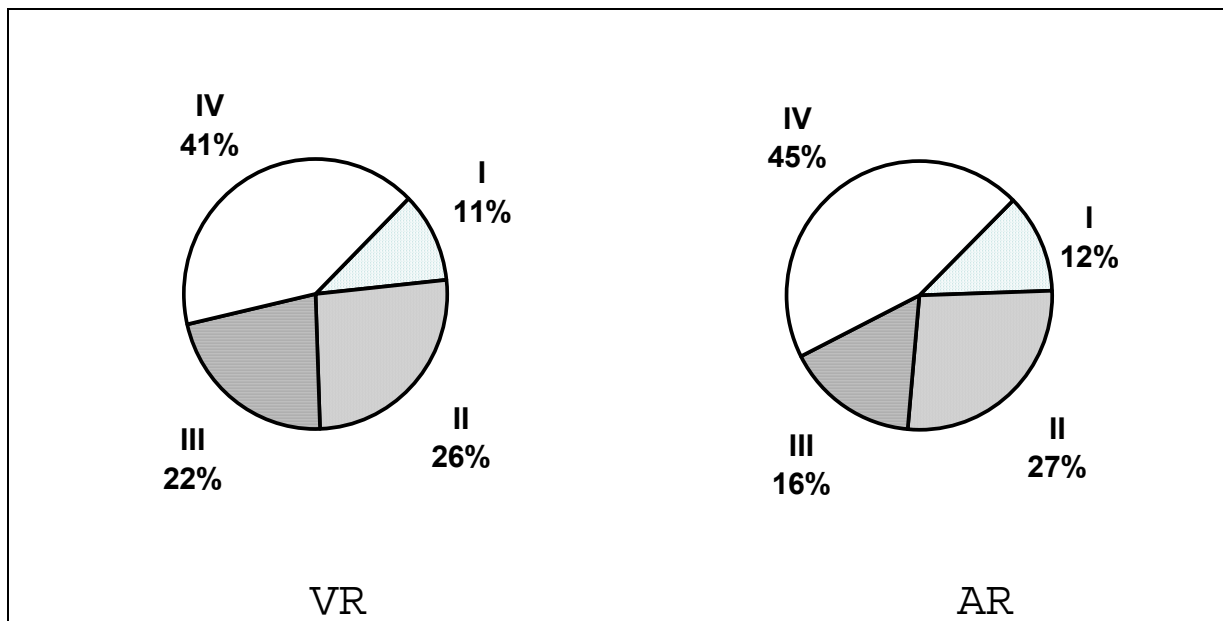


Figura 7. 11. Distribución en percentiles para los tests de razonamiento. Grupo Experimental

Para comprobar si existe relación entre la puntuaciones alcanzadas por cada alumno en la batería de tests y el cambio conceptual conseguido como consecuencia del proceso de enseñanza-aprendizaje experimentado, se han calculado los coeficientes de correlación de Spearman con la correspondiente probabilidad asociada presentándose los resultados en la Tabla 7.10.

Razonamiento	Cambio conceptual	
	Verbal	Abstracto
$\Delta M1$	0,11	0,35**
$\Delta M2$	0,14	0,22*
$\Delta M3$	0,18	0,36**

** p < 0.01 * p < 0.05

Tabla 7.10. Coeficientes de correlación de Spearman entre aptitudes intelectuales y cambio conceptual. Grupo Experimental

Los resultados muestran claramente que no existe correlación significativa entre el cambio conceptual experimentado y los resultados obtenidos en cuanto al

razonamiento verbal. Por el contrario, en lo que se refiere al caso del razonamiento abstracto, aparece una relación significativa al 1% en dos de los tres casos, teniendo que ir al 5% para incluir el que hace referencia al esquema M2. En conjunto podemos concluir que la influencia de las características individuales medidas a través de los tests elegidos no es estadísticamente significativa para más de la mitad de los casos estudiados.

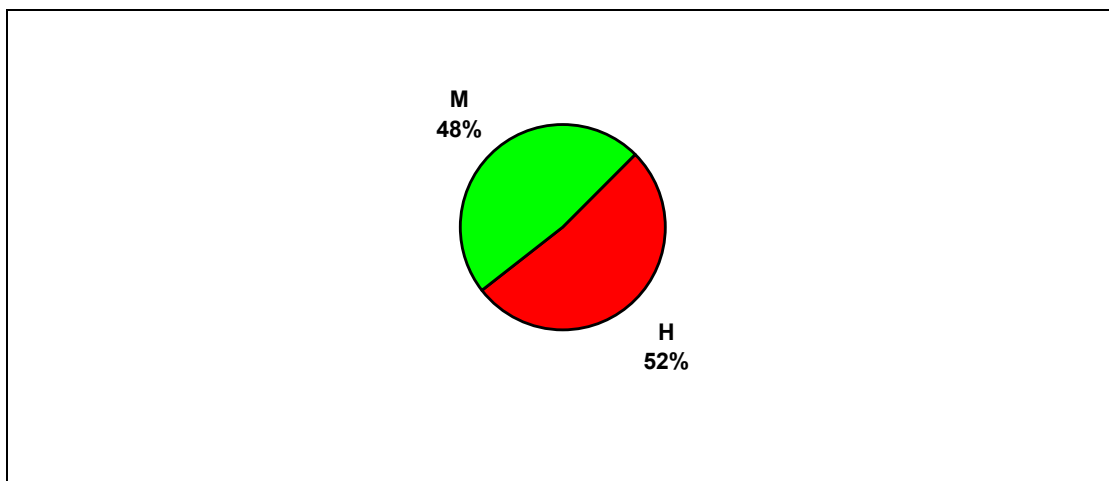


Figura 7.12. Distribución de la muestra en la variable sexo

En cuanto a la variable sexo, cuya distribución se recoge en la Figura 7.12, el cálculo de los correspondientes coeficientes de Spearman sólo da valores significativos a favor de las mujeres si trabajamos al 5%, nivel por debajo del que habíamos considerado como umbral en nuestra investigación por lo que podemos afirmar que los resultados obtenidos a consecuencia del proceso de enseñanza-aprendizaje no se han visto influidos por esta variable.

Como conclusión global de los datos obtenidos en este apartado podemos concluir que, en el estudio realizado, **el cambio conceptual experimentado por los alumnos no se ha visto influido muy significativamente por las características individuales de los sujetos**, tal como se han determinado a partir de los niveles de razonamiento abstracto y verbal, medidos por la batería DAT, y por la variable sexo.

Capítulo 8

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

8.1. PRESENTACIÓN

La investigación realizada ha tenido como finalidad el diseño de materiales curriculares correspondientes a una iniciación al estudio de la Mecánica y su posterior experimentación en un contexto escolar normalizado, utilizando una metodología de aula inspirada en la teoría constructivista del aprendizaje. Se ha estudiado el grado en que este proceso ha producido un cambio conceptual en los estudiantes, su persistencia en el tiempo y si ha desarrollado una actitud positiva hacia el aprendizaje de la Ciencia. También se ha investigado la interacción de las diferencias individuales en la respuesta de los sujetos al entrenamiento realizado.

Además, se ha realizado un estudio comparativo sobre la eficacia como resolventes de problemas de los sujetos que han constituido la muestra de esta investigación, con respecto a un grupo de control familiarizado en procedimientos de resolución de problemas considerados estándar en nuestras aulas.

Este trabajo ha pretendido contribuir al desarrollo de una línea de investigación orientada hacia la elaboración de un cuerpo coherente de conocimientos, enmarcados en la Didáctica de las Ciencias, una de cuyas prioridades es conseguir en nuestros estudiantes un aprendizaje significativo basado en un cambio conceptual, metodológico y actitudinal. Por otra parte, la investigación realizada ha estado presidida por un deseo integrador de perspectivas procedentes de la Psicología de la Educación con aportaciones desde el campo de la Didáctica de las Ciencias, ya que ambas materias han hecho esfuerzos importantes para

profundizar en un problema tan complejo como es el proceso de enseñanza/aprendizaje en contextos escolares.

Vamos a presentar las conclusiones divididas en dos apartados. El primero, hace referencia a los resultados obtenidos en la investigación, recogidos a lo largo del Capítulo 7 de esta memoria, y de los que ahora realizaremos una síntesis globalizadora. El segundo va a estar dirigido a establecer conexiones entre la teoría y la práctica educativa, resaltando las implicaciones didácticas que pueden tener los resultados de nuestro trabajo.

8.2. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Tal como aparece reflejado en el apartado 7.2 del capítulo anterior, el estudio piloto realizado con un primer diseño de los materiales didácticos correspondientes al estudio de la Mecánica, arrojaron resultados positivos en lo que al cambio conceptual se refiere. Sin embargo, dado su carácter de ensayo preliminar no vamos a incluirlos en nuestras conclusiones refiriéndonos únicamente a los resultados obtenidos con el grupo de alumnos que han constituido la muestra definitiva de nuestra investigación.

a) En lo relativo al cambio conceptual

Del estudio estadístico realizado podemos concluir que el grupo experimental de nuestra investigación, trabajando con los materiales diseñados, ha experimentado un cambio conceptual estadísticamente significativo para los esquemas explorados: diferenciación fuerza-energía, relación fuerza-movimiento en trayectorias rectas y diferenciación posición- velocidad.

El cambio conseguido ha persistido en el tiempo, aunque con una vuelta a la utilización de esquemas alternativos que resulta significativa en uno de los tres

casos estudiados, precisamente el referente a la necesidad que ven nuestros alumnos de que exista una fuerza en la dirección del movimiento .

En cuanto al estudio cualitativo realizado podemos concluir que el 53% de los estudiantes han alcanzado el nivel de respuestas científicamente correcto, resultado sumamente alentador si se compara con los datos aportados por la bibliografía. Un análisis detallado muestra que el esquema que ha sufrido una evolución mayor ha sido el relativo a la diferenciación fuerza-energía con un aumento de 44 puntos sobre 100, dato muy relevante ya que es uno de los objetivos más importante en nuestra propuesta curricular para el estudio de la Física y, en concreto, para el estudio de la Mecánica.

Por último, en lo que se refiere al uso de esquemas conceptuales alternativos, queremos indicar que, aproximadamente un tercio de los estudiantes explorados, mantienen este tipo de esquemas en el campo de la Mecánica, especialmente en el caso de "*existencia necesaria de una fuerza en la dirección de la velocidad del móvil*" que, como ya hemos comentado, ha sufrido un retroceso significativo al cabo de diez meses de terminada la experimentación. Este resultado pone de manifiesto, una vez más, la enorme dificultad que entraña el proceso de cambio conceptual que tienen que experimentar los estudiantes en el caso concreto de la Mecánica newtoniana.

b) En lo relativo a la resolución de problemas

Los resultados correspondientes a la eficacia de los estudiantes en la resolución de problemas de Mecánica considerados estándar en nuestros Institutos, podemos concluir que cerca del 50% ha resuelto correctamente los casos planteados. Además, el estudio comparativo realizado con el grupo control muestra que hay diferencias significativas a favor del grupo experimental en dos de los tres problemas evaluados. Como ya se comentó en el apartado 7.5, donde se presenta el estudio realizado, estos resultados son sumamente alentadores ya que, en el esquema de trabajo desarrollado dentro del aula, se dedica un tiempo sensiblemente

inferior al entrenamiento de los estudiantes en este tipo de tareas que en los planteamientos habituales.

Por otra parte, el estudio de la correlación entre el nivel conceptual alcanzado por los sujetos de la investigación y su eficacia como resolventes de problemas muestra unos coeficientes de correlación de Spearman que son significativos en siete de los nueve casos estudiados, variando entre 0,21 y 0,53 con una media de 0,38. Se puede concluir, por tanto, que los alumnos que obtienen un nivel aceptable de conocimientos conceptuales son, hablando en términos comparativos, los mejores resolventes de problemas.

c) En lo relativo a las actitudes

Nuestra hipótesis inicial de que unos materiales y una aplicación en el aula que cumpliera los requisitos descritos iban a tener una respuesta positiva por parte de los alumnos, ha sido confirmada por los resultados de la encuesta y las valoraciones realizadas. El porcentaje de alumnos que se encuentra en el extremo más positivo del diferencial semántico aplicado oscila entre un 32% y un 81%; el extremo más negativo de los diferenciales planteados en ningún caso ha sido superior al 18%.

Este resultado se considera muy alentador ya que estos valores son muy superiores a los obtenidos en pruebas similares realizadas con alumnos que siguen modelos de enseñanza más tradicionales.

d) En lo relativo a la influencia de las diferencias individuales

De las relaciones detectadas entre las variables cognitivas y las que han medido el cambio conceptual dentro del campo de la Física, se puede concluir que solamente se ha encontrado una correlación significativa, (coeficiente de correlación de Spearman de 0,31), entre el cambio experimentado por los estudiantes y su nivel

de razonamiento abstracto. No se ha encontrado correlación con el nivel de razonamiento verbal.

Los resultados obtenidos al introducir la variable ligada al sexo muestran que no está relacionada con el cambio conceptual experimentado por los individuos.

Como síntesis de todos los resultados presentados podemos afirmar que:

- **Los materiales propuestos a los estudiantes para abordar el estudio de la Mecánica, han producido en ellos un cambio conceptual significativo.**
- **La metodología y los materiales empleados se han mostrado más eficaces, en lo que a la capacidad de los estudiantes como resolventes de problemas se refiere, que los usualmente utilizados en nuestras aulas.**
- **Los alumnos que han adquirido un mayor nivel conceptual son los que consiguen mejores resultados a la hora de resolver problemas estándar de Mecánica.**
- **Los materiales didácticos diseñados y la metodología empleada en el aula son, generalmente, aceptados por los alumnos. Según ellos, el aprendizaje resulta más sencillo y les ayuda a entender fenómenos cotidianos.**
- **No se han encontrado resultados concluyentes sobre la influencia de las diferencias individuales en el cambio conceptual experimentado por los sujetos.**

Para terminar, retomando el planteamiento que se hizo en la presentación de esta memoria acerca del carácter integrador que había presidido nuestro trabajo, podemos afirmar que las conclusiones obtenidas pueden apoyar toda una corriente de investigación encaminada a relacionar aportaciones desde el campo de la Didáctica de las Ciencias con las procedentes de la Psicología de la Educación, todo ello en contextos educativos normalizados.

8.3. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

A la hora de reflejar las implicaciones que los resultados de esta investigación pueden tener para la enseñanza de la Física, vamos a comentar cuatro aspectos diferentes que se plantean a modo de preguntas a las que esta investigación ha intentado encontrar una respuesta:

1. ¿Qué enseñar?
2. ¿Cómo aprenden Ciencias los alumnos?
3. ¿Cómo se puede enseñar Física dentro de un aula?
4. ¿Cómo influyen las diferencias individuales en el proceso?

1) La introducción de conceptos como eje para desarrollar el currículo de Ciencias.

Dentro de la enseñanza de la Física, la introducción de conceptos es reconocida como una actividad esencial, considerándose un instrumento indispensable para la evaluación de los resultados obtenidos por los estudiantes. Como ya hemos comentado con anterioridad, se han venido realizando un gran número de trabajos sobre el tema y, consecuentemente, está surgiendo una corriente investigadora que intenta fundamentar y potenciar la introducción de conceptos, escogiendo algunos de ellos como elementos vertebradores del currículo.

Un análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, junto con los obtenidos en trabajos anteriores (Varela y otros, 1993; Pérez de Landazábal y otros, 1995), pone de manifiesto la virtualidad de abordar el estudio de la Física mediante la introducción de conceptos como actividad básica dentro de las clases y, concretamente, la utilización del **concepto de energía** como eje para el desarrollo del currículo. Además, el hecho de que los materiales elaborados se hayan diseñado dentro de una metodología de tipo investigativo, ha familiarizado a los estudiantes con aspectos esenciales del conocimiento científico, desarrollando en ellos estrategias de aprendizaje, al mismo tiempo que ha favorecido una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias.

2) La teoría constructivista del aprendizaje

En el marco teórico del constructivismo, aprender Ciencia es reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos, ampliándolas o modificándolas según los casos. En esta línea, el aprendizaje como cambio conceptual es uno de los indicadores que definen actualmente la posición constructivista en el campo de la Didáctica de las Ciencias.

Para trabajar con los alumnos, se ha asumido un modelo didáctico basado en esta perspectiva, aceptando además la hipótesis del conflicto socio-cognitivo según la cuál se produce una mejora en el aprendizaje mediante la interacción entre iguales cuando pueden confrontar sus esquemas acerca de la tarea que se les propone.

La investigación realizada muestra que la aplicación de estos planteamientos, ha producido en los estudiantes un cambio conceptual altamente significativo en el campo de la Mecánica, persistiendo en el tiempo. Estos resultados ponen de manifiesto la pertinencia de asumir la perspectiva constructivista sobre como aprenden los sujetos conceptos científicos y, en consecuencia, aplicarla a situaciones escolares estándar.

3) La metodología de trabajo dentro del aula: un compromiso entre varias orientaciones

Los profesores de Física en la Enseñanza Secundaria, en lo que a aspectos metodológicos se refiere, se enfrentan a un problema difícil que se ha tratado de resolver desde distintas orientaciones. Nosotros hemos adoptado una solución de integración entre algunas de las propuestas que, con una perspectiva investigativa, se han venido realizando. Por una parte, el trabajo en la clase se ha desarrollado con una metodología orientada por el paradigma investigación-acción donde el profesor juega el doble rol profesor/investigador, participando en el proceso de estudio y mejora de la práctica educativa. En esta perspectiva, la información recogida a

través de los mecanismos adecuados han permitido, a lo largo del proceso, poner en marcha las correspondientes estrategias de realimentación fundamentales en esta orientación, donde una de las ideas clave es investigar para la acción .

Como consecuencia de estos planteamientos se ha llevado a cabo una revisión sistemática de los materiales diseñados, tal como se reseña en la descripción de los mismos. Esta revisión ha sido realizada por las profesoras-investigadoras, atendiendo no sólo a razones epistemológicas propias de la disciplina sino también a las que se derivan de un análisis crítico de todo lo que ocurre en el aula.

Por otra parte, hemos asumido la teoría constructivista del aprendizaje sin perder de vista que el propósito de la enseñanza de las Ciencias no es "obligar" a los estudiantes a que cambien sus concepciones alternativas sino más bien ayudarles tanto a formar el hábito de cuestionar sus ideas como a desarrollar las estrategias adecuadas para aceptar y contrastar concepciones de cara a su posible aceptación.

En cuanto al modelo de evaluación empleado, aspecto fundamental en todo planteamiento didáctico, hemos adoptado una evaluación formativa que, aplicada a lo largo del proceso, ha permitido incorporar las modificaciones pertinentes. La evolución detectada en los alumnos del grupo experimental de esta investigación, tanto en la consecución de un cambio conceptual significativo como en su capacidad para resolver problemas de Física, pensamos que es deudora, en gran parte, de la metodología con que se ha trabajado en el aula.

4) La relevancia de las diferencias individuales

Tomando como punto de partida que los estudiantes aprenden de forma diferenciada, los profesores deben asumir esta realidad a la hora de enseñar Física. La investigación que ahora presentamos tenía como finalidad realizar una aportación en esta línea de investigación donde se debate actualmente cuáles son las variables

psicológicas que ejercen una influencia más relevante en el aprendizaje de las Ciencias.

A modo de conclusión:

Los resultados de este trabajo podrían ser una aportación interesante a las numerosas investigaciones realizadas sobre la existencia de esquemas conceptuales alternativos en los estudiantes así como sobre las posibles estrategias a utilizar para conseguir su evolución, plasmándolas en unos materiales que, además de cumplir los requisitos de significatividad lógica y psicológica, han sido suficientemente contrastados.

Para terminar una reflexión global sobre lo que supone la realización de investigaciones educativas, reflexión que presenta un cierto paralelismo con lo que sucede en el campo de la investigación científica y que quedaría recogida en esta frase: *la solución de un problema en el campo de las Ciencias termina siempre con la aparición de nuevos problemas, que hay que intentar resolver.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias* 7, (3), 241-246.
- ALLAL, L. (1979). Estrategias de evaluación formativa: Concepciones psicopedagógicas y modalidades de aplicación. Traducido de *Strategies d'évaluation formative: conceptions psycho-pédagogiques et modalités d'application*. L. Allal, J. Cardinet y Ph. Perrenoud (eds). Peter Lang, Berne.
- ANDERSSON, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupil's preconceptions in Science. *European Journal of Science Education* 8, (2), 155-171.
- AUSUBEL, P.D. (1978). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, Méjico.
- BACHELARD, G. (1971). *Epistemologie, textes choisis*. P.U.F., Paris.
- BENNETT, G.K., SEASHORE, H.G. y WESMAN, A.G. (1951). *Validation of the Differential Aptitude Tests*. Fifth Research Report. The Psychological Corporation, New York.
- BISQUERRA, R. (1989). *Métodos de investigación educativa*. CEAC, Barcelona.

- BLACK, P. y SOLOMON, J. (1983). Life-world and Science-world pupils' ideas about energy. *Entropy in the School*. Volumen 1. Roland Eötvös Physical Society, Budapest, Hungary.
- BLISS, J., MORRISON, I. y OGBORN, J. (1988). A longitudinal study of dynamics concepts. *International Journal of Science Education* 10, (1), 99-110.
- BROOK, A. y DRIVER, R. (1984). Aspects of Secondary Students' Understanding of Energy. *Children's Learning in Science Research Group*, CSSME, University of Leeds.
- BROOK, A., BRIGGS, H., BELL, B. y DRIVER, R. (1984). CHILDREN'S LEARNING IN SCIENCE PROJECT. *Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat: Full Report*. Leeds University.
- CARRASCOSA, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las Ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.
- CHAMPAGNE, A.B., KLOPFER, L.E. y ANDERSON, J.H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics* 48, 1074-1079.
- CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*. 50, 66-71.
- C.L.I.S. (Children's Learning in Science Project). (1987). "Secondary Student's ideas about energy". Leeds Univ.
- CLOSSET, J. (1983). Sequential reasoning in electricity. *Actes Atelier International d'été*. La Londe les Maures, Francia. 313-319.
- COLL, C. (1983). La evaluación en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Cuadernos de Pedagogía* 103, 13-17.
- COOK, T.D. y CAMPBELL D.T. (1979). *Quasi-experimentation. Design and analysis Issues for Field Settings*. Rand McNally, Chicago.
- COOK, T.D. y REICHARDT, CH.S. (1986). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Morata, Madrid.
- C.O.P.E.S. (Conceptually Oriented Program in Elementary Science). (1969). Citado por Duit, 1986
- CRONBACH, L.J. (1957). The two disciplines of the scientific psychology. *American Psychologist* 12, 671-684.
- CUBERO, R. (1989). *Como trabajar con las ideas de los alumnos*. Diada Editores, Sevilla.

- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 4, (1), 3-15.
- DRIVER, R. & OLDHAM, V. (1986). A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education* 13, 105-122.
- DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education* 20, 171-176.
- DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIEN, A. (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press: Milton Keynes, England. Trad. cast. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (1989). Morata, Madrid.
- DUIT, R. (1981). Students' notions about the energy concept - before and after Physics instruction. *Problems concerning students' representation of Physics and Chemistry Knowledge*. Ludwisburg, West Germany.
- DUIT, R. (1983). Energy conceptions held by students and consequences for science teaching. *Seminar on misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, Cornell University.
- DUIT, R. (1984). Learning the energy concept in school - empirical results from the Phylippines and West Germany. *Physics Education* 19, 59-66.
- DUIT, R. (1986). In search of an energy concept. In R. Driver and R. Millar (eds.): *Energy matters*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 67-101.
- DUIT, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi-material?. *International Journal of Science Education* 9 (2), 139-145.
- ENGEL CLOUGH, E. y DRIVER, R. (1986). A Study of consistency in the use of students' conceptual framework across different task contexts. *Science Education* 70, (4), 473-496.
- ELLIOTT, J. (1986). *Mejorar la calidad de la enseñanza mediante la investigación en la acción*. Investigación/acción en el aula. Generalitat Valenciana, Valencia.
- ELLIOTT, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Morata, Madrid.

- ESCUADERO, T. (1985). Las actitudes en la enseñanza de las ciencias: un panorama complejo. *Revista de Educación* 278, 5-26.
- FAVIERES, A. et al. (1989). Una aplicación del modelo constructivista al curriculum de Física en Bachillerato. *Proyecto subvencionado por la Consejería de Educación de la Comunidad Autónoma de Madrid y por la Dirección General de Renovación pedagógica del M.E.C.*
- FERNÁNDEZ URÍA, E. (1986). Reflexiones acerca del concepto de calor. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1), 91-92.
- FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B. y SANDS, M. (1969). *The Feynman Lectures on Physics*. Addison-Wesley, Reading, Mass. Trad. cast. *Física Vol 1: Mecánica, radiación y calor* (1971). Ed. Fondo Educativo Interamericano, México.
- FOX, D. (1987). *El proceso de investigación en educación*. Universidad de Navarra, Pamplona.
- GARCIA, J.M., ORTIZ, A., SANTISTEBAN, A. y VARELA, P. (1989). Iniciación a la investigación en el aula. *Investigación en la Escuela* 8, 73-77.
- GIL, D. (1993). Psicología Educativa y Didáctica de las ciencias: los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como lugar de encuentro. *Infancia y aprendizaje*, 62-63, 171-185.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIO, C. y MARTINEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Horsori, Barcelona.
- GIMENO, J. (1988). *Teoría de la enseñanza y desarrollo del currículo*. Anaya, Madrid.
- GUNSTONE, R.F. y WHITE, R.T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education* 65, 291-299.
- HALLOUN, I.B. Y HESTENES, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics* 53, (11), 1056-1065.
- HÄRTEL, H. (1982). The electric circuits as a system: a new approach. *European Journal of Science Education* 4,(1), 45-55.
- HEWSON, P.W. (1990). La enseñanza de "Fuerza y Movimiento" como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias* 8, (2), 157-172.

- HIERREZUELO, J y MOLINA, E. (1989). Una propuesta para introducir los conceptos Fuerza y Energía en enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias, n° extra, III Congreso Internacional sobre Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. Vol. 2. Santiago de Compostela, 226-229.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1988). *La Ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la Química*. Laia/M.E.C., Madrid.
- JUNCOS DEL EGIDO, P. y PÉREZ LANDAZABAL, M.C. (1989). Persistencia de las ideas previas sobre calor y temperatura en el BUP. *III Congreso Internacional sobre Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. Santiago de Compostela, 225-226.
- JUNG, W. (1985). Elementary Electricity: an epistemological look at some empirical results. *Aspects of understanding Electricity. Proceedings of an International Workshop, Ludwigsburg 1984, IPN Kiel*, 235-245.
- KORAN, M.L. y KORAN, J.J. (1984). Aptitude-treatment interaction research in Science Education. *Journal of Research in Science Teaching* 21, 8, 793-808.
- KRUGER, C., PALACIO, D. y SUMMERS, M. (1992). Survey of English Primary Teachers' Conceptions of Force, Energy and Materials. *Science Education* 76, (4), 339-351.
- KUHN, TH.S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago University Press. Trad. cast. *La estructura de las revoluciones científicas*. (1971). Fondo de Cultura Económica, México.
- LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*. Cambridge University Press. Trad. cast. *La metodología de los programas de investigación científica*. (1983). Alianza, Madrid.
- LARKIN, J.H. y RAINARD, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching* 21, (3), 235-254.
- LAWSON, R. A. (1984). Ph.D. Dissertation. University of Washington.

- LAWSON, R. y McDERMOTT, L. (1986). Student understanding of the work energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics* 55, (9), 811-817.
- LEWIN, K. (1946). Action - Research as Minority Problems. *J. of Social Issues* 2, 34-46.
- LINN, M.C. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends, and recommendations, *Journal of Research in Science Teaching* 24, (3), 191-216.
- LÓPEZ RUPÉREZ, F. et al. (1983). Las nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico. *Bordón* nº 249, 497-506.
- LÓPEZ RUPÉREZ, F. (1991). *Organización del conocimiento y resolución de problemas en Física*. Centro de Publicaciones del MEC, Madrid.
- MALONEY, D.P. (1984). Rule-governed approaches to physics Newton's third law. *Physics Education* 19, 37-42.
- McCLOSKEY, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American* 248, 122-130.
- McDERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today* 37, 24-32.
- MINSTRELL, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *The Physics Teacher* 20, 10-14.
- MORALES, M. y MORENO, M. (1993). Problemas en el uso de los términos cualitativo/cuantitativo en Investigación Educativa. *Investigación en la Escuela* 21, 39-50.
- OLDHAM, V., BLACK, P., SOLOMON, J. y STUART, H. (1986). A study of pupil views on the dangers of electricity. *European Journal of Science Education* 8 (2), 185-197.
- OSBORNE, R.J. (1981). Children ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher* 29, 12-19.
- OSBORNE, J.R. y FREYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's Science*. Heinemann, London. Trad. cast. *El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la Ciencia de los alumnos* (1991). Narcea. Madrid.
- OSBORNE, J.R. y GILBERT, K.J. (1980). A technique for exploring students views of the world. *Physics Education* 50, (6), 376-379.

- OSBORNE, J.R. y WITTROCK, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education* 12, 59-87.
- PÉREZ-LANDEZÁBAL, M.C., FAVIERES, A., MANRIQUE, M.J. y VARELA, M.P. (1995). La energía como núcleo en el diseño curricular de la Física. *Enseñanza de las Ciencias* 13, (1), 55-65.
- PIAGET, J., (1929). *La représentation du monde chez l'enfant*. PUF, Paris. Trad. cast. *La representación del mundo en el niño*. (1973). Morata, Madrid.
- PIAGET, J., (1979). *Seis estudios de Psicología*. Seix-Barral.
- PINES, A.L. y WEST, L.H.T. (1986). Conceptual Understanding and Science Learning: An Interpretation of Research within a Sources-of-knowledge Framework. *Science Education* 70 (5), 583-604.
- POPE, M.L. y GILBERT, J. (1983). Personal experience and the construction of knowledge in science. *Science Education* 67, (2), 193-203.
- PORLAN, R. (1987). El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer conocer para enseñar. *Investigación en la Escuela* 1, 63-70
- POSNER, G., STRIKE, D. HEWSON, P. Y GERTZOG, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66, (2), 211-227.
- POZO, J.I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Visor, Madrid.
- POZO. J.I. (1993). Psicología y Didáctica de las Ciencias de la naturaleza. ¿Concepciones alternativas?. *Infancia y Aprendizaje* 62-63, 187-204.
- REIF, F. y LARKIN, J.H. (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching* 28, (9), 733-760.
- RHONECK, C. (1985). The introduction of voltage as an independent variable. The importance of preconceptions, cognitive conflict and operating rules. Aspects of understanding Electricity. *Proceedings of an International Workshop*, Ludwisburg 1984, IPN Kiel, 275-286.
- RUGGIERO, S., CARTELLI, A., DUPRÉ, F., VICENTINI-MISSONI, M. (1985). Weight, gravity and air pressure: Mental

- representations by italian middle school pupils. *European Journal of Science Education* 7, (2), 181-194.
- SALTIEL, E. y MALGRANGE, J.L. (1980). "Spontaneous" ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics* 1, 73-80.
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias* 3, (2), 137-145.
- SANTISTEBAN, A. y VARELA, P. (1992). Un modelo de formación de profesores fundamentado en la reflexión teoría-práctica. *Revista Complutense de Educación* 3, (1,2), 105-116.
- SCHIBECI, R.A. (1982). Measuring student attitudes: semantic differential or Likert instruments. *Science Education* 66, (4), 565-570.
- SCHMID, B.G. (1982). Energy and its carriers. *Physics Education* 17, (5), 212-218.
- S.C.I.S. (Science Curriculum Improvement Study). (1971). *Energy sources*. Teachers Guide. Rand McNally, Chicago.
- SEBASTIÁ, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias* 2, (3), 161-169.
- SEMINARIO DE LA AXARQUÍA. (1989). *Aprendizaje de Física y Química*. Editorial Ezelvir, Vélez-Málaga.
- SERRANO, T. (1988). Actitudes de los alumnos y aprendizaje de las ciencias. Un estudio longitudinal. *Investigación en la Escuela* 5, 29-38
- SHIPSTONE, D.M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits. *European Journal of Science Education* 6, (2), 185-198.
- SIEGEL, S. (1979). *Estadística no paramétrica, aplicada a la ciencia de la conducta*. Trillas, Méjico.
- SOLOMON, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education* 5, (1), 49-59.
- SOLOMON, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education* 20, 165-170.

- SOLOMON, J., BLACK, P., y STUART, H. 1986. The pupil's views of electricity revisited: social development or cognitive growth. *International Journal of Science Education* 9, (1), 13-22.
- STENHOUSE, L. (1987). *Investigacion y desarrollo del curriculum*. Morata, Madrid.
- TERRY, C. y JONES, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education* 8, (3), 291-298.
- TIBERGHIE, A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 à 20 ans. *Actes Atelier International d'été*, La Londe les Maures, France. 109-123.
- TOULMIN, S. (1972). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza, Madrid.
- TROWBRIDGE, D.E. y McDERMOTT, L.C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics* 48, 1020-1028.
- TROWBRIDGE, D.E. y McDERMOTT, L.C. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics* 49, (3), 242-253.
- VALERA, M., LÓPEZ FERNÁNDEZ, C., GARCÍA GARCÍA, S., GIL IBAÑEZ, J., FRUTOS, J., INIESTA, M.A. y MARSET, P. (1983). Intuición e Historia de las Ciencias en la Enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 1, (3), 205-215.
- VARELA, P., MANRIQUE, M.J. y FAVIERES, A. (1988). Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 6, (3), 285-290.
- VARELA, M.P., FAVIERES, A., MANRIQUE, M.J. y PÉREZ-LANDEZÁBAL, M.C. (1993). *Iniciación a la Física en el marco de la teoría constructivista*. Centro de Publicaciones del MEC, Madrid.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education* 1, 205-221.
- WARREN, J.W. (1971). Circular motion. *Physics Education* 6, (2), 74-77.

- WARREN, J.W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education* 4, (3), 295-297.
- WATTS, D.M. (1980). An exploration of students understanding of the concepts "Force" and Energy". *International Conference on Education for Physics Teaching*. Trieste.
- WATTS, D.M. (1983a). Some alternative views of energy. *Physics Education* 18, 213-217.
- WATTS, D.M. (1983b). A study of school children's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education* 5 (2), 217-230.
- WATTS, D.M. y ZYLBERSZTAJN, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education* 16, 360-365.

ANEXO I
MUESTRA DE ENTREVISTAS

PRETEST ¡Error! Marcador no definido.

ENTREVISTA 1

TEST I

Profesor.- A ver, en el primer test, el de la rampa, tú has contestado que era el B en la pregunta de la fuerza, y también has contestado el B en la pregunta de la energía. Razóname por qué.

Alumno.- Aunque no tuviese ni idea de los conceptos esto es por lógica, cuanto más inclinación tuviese la rampa yo suponía que más fuerza necesitaría.

P.- Bien, a mayor inclinación, más fuerza, ¿ y en la pregunta de energía ?.

A.- Gastaba más energía el B porque al tener que hacer más fuerza me imaginé que a más fuerza más energía.

TEST II

P.- Vale. Ahora vamos con el segundo test, el de la pelota. Tú has contestado: en el caso primero A, en el segundo C y en el tercero B, razóname lo que has contestado.

A.- Aquí yo no tenía ni idea. Lo que pensaba es que la pelota, ella misma tenía fuerza, y al lanzarla se desprendía hacia abajo, pues sí, lo saqué por lógica. Al llegar al final, había perdido toda su fuerza y caía por la acción de la gravedad. Fue lo primero que me vino a la cabeza.

P.- O sea que no te acordabas de nada y contestaste lo primero que te parecía lógico.

A.- Sí, yo creía que estaba correcto.

P.- Vale. Has contestado abajo del todo que la gravedad...

A:- Es la que le da la fuerza a la pelota para que baje.

P.- Bien, ¿ tienes algo más que decir ?...

A.- No.

P.- Este lo hiciste un poco a ojo, ¿ no ?.

S.- Sí, claro.

TEST III

P.- Vamos ahora con el test de las atracciones. Has contestado: que en el primer caso se atraían los dos pero más el de 4c, y, en los otros dos casos que la Tierra a la manzana y el imán al clavo. ¿ Por qué has contestado esto?.

A.- En el primer caso he contestado que los dos se atraen entre sí porque más o menos me acordaba de otra lección; los dos se atraen pero uno con más fuerza.

P.- ¿ Por qué no has contestado lo mismo en el segundo y tercer caso ?.

A.- ¡ Ah !, porque en el primer caso... las masas... no había mucha diferencia, pero la Tierra atrae a la manzana... pues... como la masa de la Tierra era enorme con respecto a la manzana, pensé que sería la Tierra.

P.- O sea, que distingues el primer caso de los otros dos.

A.- Sí, sí.

P.- ¿ Por qué el imán atrae al clavo ?.

A.- Pues por lo mismo que el de la Tierra.

TEST IV

P.- Bien, vamos a pasar al test del movimiento. Has contestado "a" y "b" juntos. Lee lo que has escrito.

A.- Que el coche B tiene una aceleración más lenta que A, y por eso tardaba mas en alcanzar su velocidad límite, pero que al final, iba más deprisa; o sea, que el otro tenía una aceleración más rápida, y que, al llegar a su máximo de velocidad, ahí se quedaba, se mantendrá, y sin embargo en el coche B la aceleración era más lenta pero alcanzaba una velocidad mayor.

P.- O sea, que los dos tenían aceleración pero el A tenía menor aceleración que el B, ¿ no ?.

A.- Sí.

P.- ¿ Quieres decir algo más ?.

A.- Pues, que en el B creo que la aceleración era en aumento:

P.- Vale, gracias, puedes irte.

ENTREVISTA 2

TEST I

P.- A ver, Laura, en el test primero has contestado que el hombre hace más fuerza en B porque la pendiente está más inclinada, y necesita más fuerza, y en la pregunta de la energía has contestado también el B aunque no estabas segura, porque el camino es más largo pero está más tiempo en B.

A ver si puedes explicarnos un poco más.

A.- He dicho que necesitaba más fuerza en B porque como estaba más inclinado, pues...era más difícil, era como más altura, pues entonces más fuerza, porque en "A" está menos inclinado.

P.- ¿ Altura ?, ¿ no es la misma ?.

A.- Sí, pero yo al ver esto, pues no me fijé en eso, yo pensé que... sólo en la altura de esto y nada, yo dije que en "B" porque lo veía así.

P.- Bien, ¿ y en el segundo caso ?.

A.- He contestado que gasta más energía en "B", pues por lo mismo, que al necesitar más fuerza pues es que gasta más energía, cuanto más energía más fuerza, y, cuanto menos energía menos fuerza.

P.- Bien, ¿ ninguna cosa más que aclarar en esto ?.

A.- No.

TEST II

P.- Bueno, ahora vamos con el test de la pelota; aquí has contestado: en el primer caso, el " B ", hacia arriba, en el segundo, el " C ", ninguna fuerza, y en el tercer caso también " C ", ninguna fuerza cuando baja, a ver qué quieres decir en el razonamiento que has hecho.

A.- A ver... ¡ ah, sí !, porque yo pensaba que la pelota no tenía ninguna fuerza, sólo la que tú le dabas, entonces, como tú la fuerza que le dabas era para arriba, entonces, pues eso.

P.- Llega un momento en que la fuerza disminuye, entonces la pelota deja de subir. En este caso, entonces, ninguna fuerza...

A.- ¡ Ah, claro !, yo...porque yo decía: como la pelota no tiene ninguna fuerza, si la fuerza que he aplicado se ha gastado porque está bajando, pues entonces ya no tendrá ninguna.

P.- Y en la bajada lo mismo, ¿ no ?... ¡ Ah ! es que tu eras la que teniendo hambre sólo piensas en comer, y entonces no puedes pensar ... al no tener la pelota ninguna fuerza...

A.- Es que es verdad, si tienes hambre no puedes pensar en otra cosa.

P.- Vale. Esperemos que el día del examen no vengas con hambre.

A.- Eso espero.

TEST III

P.- A ver, vamos a ver el test tercero. En el primer caso has contestado que se atraen ambos, en el segundo y en el tercero que la Tierra atrae a la manzana y el imán atrae al clavo porque tiene más fuerza el imán. En el razonamiento pone que no lo entiendes...

A.- Pues...

P.- Pones que no entiendes lo que significa: C, la C de 4c.

A.- Claro, es que no sabía lo que era C.

P.- Pero...¿ no veías el caso ?.

A.- Sí, pero no...no... yo puse que ambos se atraían porque como veía eso de "+" y de "-", pues digo: polos opuestos pues se atraen los dos, pero claro, como veía uno más grande que el otro, no sabía si eso influiría en algo y puse que los dos.

P.- Bien, y en la " B " has vuelto a razonar con lo del hambre, tú estabas obsesionada: " con el hambre que hay en la Tierra..." esto me parece a mí que no es un razonamiento muy científico.

A.- Sí, es que yo como vi esto dije : los dos se atraerán, y claro, por lógica pensé: como la Tierra es tan grande, pues no puede atraer una manzana a una cosa que sea tan grande, y como no sabía cómo explicarlo, simplemente es algo que ves así y dices: pues esto tiene que ser así por narices y no sabes por qué, y por eso puse eso...

p.- Lo del hambre, que era tu obsesión.

A.- Sí, fue lo primero que se me ocurrió.

P.- En el caso del imán has puesto que el imán tenía más fuerza, ¿ qué quieres decir con eso ?.

A.- Pues... porque tiene más fuerza, ¿ no ?, siempre un imán tiene más fuerza que un clavo, no sé, por que tiene más fuerza.

P.- ¿ Tienes alguna otra idea que a lo mejor no expresaste.

A.- Pues... no sé... como el clavo es así, de metal, pues dije... además, el imán es más grande, y como tiene más masa, siempre me parece que lo más grande atrae a lo más pequeño.

P.- Bien, está clara la idea, sin embargo, en el primer caso dudabas un poco, ¿ no ?.

A.- Sí, pero es que me despistaba lo de 4C.

P.- Ya, pero también es uno más grande, y sin embargo has contestado distinto.

A.- Ya, pero...

P.- Te despistaron los C.

TEST IV

P.- Bueno, Laura, vamos a pasar al último test. Has contestado que a los tres segundos están en el mismo sitio, y que la velocidad de B es variable.

A.- Pues lo primero no sé, yo veía que a los tres segundos estaba dividido distinto pero que al final era la misma distancia, entonces digo, pues estarán en el mismo sitio, porque si la velocidad es la misma...

P.- Son dos posiciones, luego si ponen dos posiciones, estarán en la misma posición, ¿ no ?.

A.- Claro, porque aunque al principio el B recorriera un poco menos, luego, recuperaba lo que había perdido.

P.- Sin embargo has contestado que la velocidad del primero era constante y la del segundo variaba.

A.- Sí, en el primero es constante porque siempre va avanzando el mismo espacio en el tiempo, pero en el segundo, parece que va aumentando, porque aunque al principio recorre menos espacio, y luego es más...como se va abriendo eso pues dije: va aumentando. Eso fue lo primero que se me ocurrió.

P.- Vale, ¿ alguna otra cosa más que no se te ocurrió entonces?.

A.- Pues yo creo que no.

P.- Muy bien, muchas gracias puedes irte.

ENTREVISTA 3

TEST I

P.- A ver Enrique, vamos a ver como has contestado en el primer test, léelo tú.

A.- Sí, pues lo mismo que mis compañeros, al ver la inclinación, al ver que tenía mayor inclinación la rampa B creí que tenía que hacer más fuerza, y que si A estaba menos inclinada, rodaba mejor la pelota.

P.- ¿ Rodaría mejor ?.

A.- Yo pensé que era una rueda, o sea, que era algo redondo, que al tirar podía rodar, y pensé eso, que necesitaría menos fuerza para subirlo.

P.- Bien. En la segunda cuestión has puesto: " gasta más energía en B porque necesita mayor trabajo ".

A.- Bueno, realizar trabajo lo realizan los dos, porque están subiendo los dos peso, y yo creía que el B realizaba más al hacer un mayor trabajo. O sea, al hacer más fuerza, pensaba que gastaba más energía el B que el A, pero que ambos gastaban energía, realizaban un trabajo al hacer subir un peso.

P.- ¿ Porqué más energía el B ?.

A.- Pues por eso, al estar más inclinado...

P.- Pero eso no lo has puesto, por eso digo...

A.- No, pues pensé eso, que al estar más inclinado y necesitar más fuerza, pues gasta más.

TEST II

P.- Vamos a ver el test segundo, el de la pelota, contestaste: en el primer caso hacia abajo, ninguna fuerza en el segundo, y hacia arriba en el tercero, y has justificado: que en el primer caso se ejerce una fuerza por debajo de la pelota para ayudarla a subir. Explícame eso... o no te acuerdas de porqué contestaste eso.

A.-... Ahora mismo no. Pensaría que esa flecha significaba que le había ayudado con la mano.

P.- ¿ El impulso hacia arriba ?.

A.- Sí. Yo creo que esa flecha significaba que había hecho un impulso con la mano para ayudarla a subir.

P.- Pero tú, ahora, estás haciendo con la mano un gesto hacia arriba, ¿ no ?.

A.- Sí, sí, hacia arriba, un gesto hacia arriba.

P.- Pero la flecha está hacia abajo, ¿ no ?.

A.-... ¡ Ah !....

P.- En el segundo caso no has razonado nada. ¿ Por qué has contestado que ninguna ?... Algo pensarías, ¿ no ?.

A.- Hombre, si está... si llega a un punto en el que ya deja de subir, que es lo que pone: " punto más alto de su recorrido" , pues puse que no tenía ninguna fuerza al estar quieta... y luego cogería energía para abajo...es que creo que igual que me confundí en el primer caso de flecha, aquí igual, creía que le atraía una fuerza hacia abajo. Cambié las flechas, o sea el razonamiento sí lo sabía pero me confundí con las flechas.

P.- Ya, o sea, que cogiste hacia arriba lo que era hacia abajo y viceversa.

A.- Sí.

P.- Bien. Tú en ningún momento hablas de la gravedad, y dices en el último caso que la Tierra ejerce una fuerza sobre la pelota atrayéndola hacia ella. ¿ Y en los demás tú qué crees?, ...¿ no hay fuerza de atracción de la Tierra ?.

A.- Sí. Lo que pasa es que para subirla la hemos ayudado con la mano.

P.- Bien.

TEST III

P.- En el test de atracción pones en los tres casos que ambos se atraen entre sí, y que el de 4C, la Tierra, y el imán atraen con mayor fuerza, a ver, razóname esto.

E.- Puse que ambos se atraen entre sí por lo de los polos opuestos, al ver lo de "+" y "-", y que el de 4C con más fuerza por lo de 4C.

P.- ¿ Qué significa lo de 4C ?, ¿ tú lo sabes ?.

A.- No sé, pero yo dije: " si éste que es mayor tiene lo de 4C, y éste que es menor tiene lo de 2C, se atraen, pero el de 4C atraerá con más fuerza."

P.- Bien.

A.- En el de la Tierra: que ambos se atraen entre sí porque yo, en 8º había dado este tema y más o menos me acordaba, y puse que la Tierra porque era mayor, igual que en el primer caso.

P.- ¿ Y en el imán ?, ¿ también te acordabas de 8º ?.

A.- ¿ En el imán ?...no...ambos se atraen entre sí por la misma razón que en los otros dos.

P.- Pero en la primera has razonado que se atraían porque eran polos, en la de la Tierra: porque te acordabas de 8º, ¿ y qué pasa con la del imán ?.

A.- Porque era metal y el imán...no sé, yo pensaba pues eso, que se atraían...

P.- ¿ Y has contestado que el imán ?.

A.- Sí, el imán con más fuerza.

P.- ¿ Por qué?.

A.- Porque yo, generalmente pienso que un imán atrae a un clavo, o sea: se atraen, pero el imán con más fuerza porque está imantado, porque es un metal imantado, ¿ no ?.

P.- ¿ Por qué sabes que el clavo también atrae al imán ?, o sea: ¿ por qué contestas que ambos, si tú lo que crees es lo contrario ?...

A.- No, yo pensé que se atraían igual, o sea: que los dos hacían una fuerza de atracción, pero el imán mayor por eso: porque estaba imantado...no sé...

P.- ¿ No se te ocurre nada más ?.

A.- Seguramente me guié por el ejemplo de la Tierra: que ambos se atraían entre sí pero el mayor con más fuerza, y lo explicaría ahí.

P.- Vale, es un buen razonamiento.

TEST IV

P.- En el test de movimiento has contestado: que la posición a los tres segundos es la misma, sin razonar más, y que el "A" lleva una velocidad constante y el "B" ha aumentado su velocidad.

A.- Sí, pues por los puntos; al ser casi la misma distancia en el "A" de un punto a otro, pensé que llevaba la misma velocidad, que no la cambiaba. En el coche "B", al ver

que los puntos iban aumentando la distancia, pensé que iba acelerando, que iba aumentando la velocidad.

P.- ¿ Acelerando ?. Aquí no hablas nada de aceleración.

A.- Bueno, en "A" lleva una velocidad constante, al haber la misma distancia de punto a punto...y en el caso "B" pensé, aunque lo mismo no lo puse, que aceleró, por eso la distancia entre los puntos va aumentando.

P.- ¿ Y qué pasa con la aceleración en el primer caso ?

A.- Yo creo que va a la misma velocidad, que no hay aceleración, que pone el coche a una velocidad y la mantiene constante. Al principio sí, para llegar a la velocidad que coja, pero luego la mantiene constante.

P.- ¿ Y este razonamiento ?, ¿ eres repetidor o te acuerdas de algo ?.

A.- No, no, todo lo deduje.

P.- Hombre, deducirlo no. Algo sabrías, ¿ no ?.

A.- Hombre, yo lo comparo con mi coche, o lo pongo en casos prácticos. No es que lo haya dado, vamos que yo recuerde,... aceleración lo di más o menos, y de lo que me acordaba lo puse pero...

P.- Está muy bien que lo lledes a un caso práctico, así ves que la Física no está alejada de...

A.- En los coches no. En los coches yo lo pongo en un caso práctico: si tienen la misma distancia los puntos es que va a la misma velocidad, y si primero hay menos distancia entre los puntos y luego más, es que está acelerando.

P.- Ahora, al margen del test, ¿ tú crees que si te metes en el coche "A" para realizar esto no tienes que acelerar ?. Fíjate en lo que te estoy preguntando, ¿ no tienes que pisar el acelerador ?.

A.- Sí, al principio sí, hasta llegar a la velocidad que luego mantiene constante, y luego tienes que seguir pisándole pero ya no mueves el pie.

P.- Pero le estás pisando ¿ no ?.

A.- Sí, pero...no sé...

P.- Vale no importa, esta pregunta era al margen del test.

Gracias por tu colaboración, puedes marcharte.

POSTEST (MAYO 95; Error! Marcador no definido.)

ENTREVISTA 1

Profesora: Vamos a ver, Sergio, ya hemos comentado, que esto es más o menos lo mismo que la otra vez, solo que el test lo has contestado después de haber trabajado en el tema.

Bueno, entonces vamos a empezar con el test de la rampa; tú has contestado que hace más fuerza en B, y que gasta la misma energía en ambos casos. Vamos a ver si eres capaz de razonar la respuesta de acuerdo con lo que tú piensas.

A.- Pero...¿ lo que pensaba en ese momento ?.

P.- Sí, sí, lo que pensabas en ese momento, porque ya no has vuelto a ver Física.

A.- Ya. Pues eso, pues ya te lo dije, que es de lógica, vamos a ver, o sea, si la rampa era más inclinada, pues me imaginaba que tendría que tirar con más fuerza, o sea, fue cuando todavía no sabíamos nada...

P.- Pero eso fue la primera vez, y yo me estoy refiriendo a la segunda, que ya habías visto Física. Este segundo test es después de haber estudiado, no es el primero.

A.- ¿ Ah, sí ?.

P.- Sí, si, ¿ te acuerdas ?. Ahí tengo el otro también, por si quieres verlo.

A.- No, da igual. Ah, pues no sé en qué estará pensando. Sólo que eso, que lo sabía, que hace menos fuerza cuando está menos inclinada atrás...

P.- Que hace menos fuerza cuando está... ¿ cómo ?.

A.- Cuando... o sea, que tiene que hacer menos fuerza... es que... ya...

P.- Ya se te ha olvidado, ¿ no ?.

A.- No. No es que se me haya olvidado, es que no quiero meter la pata.

P.- No, si no se trata de meter la pata sino de decir lo que tú piensas...A ver, cuenta.

A.- Estoy de acuerdo en que eran igual los dos porque como la forma de trabajo era fuerza por esto...distancia, o espacio, pues que aunque aquí tenía la mitad de espacio tenía que hacer más fuerza, y aquí tenía que hacer menos fuerza pero tenía el doble de espacio...

P.- ¿ Y la energía ?.

A.- ¿ La energía ?...eh...Pues por... o sea, lo asocié a que el trabajo, como era el mismo, pues era la misma energía. Y me acuerdo de que el trabajo se medía en " julios " o algo así, no me acuerdo bien...

P.- Se nota que no está aquí quien te evalúa.

TEST II

P.- Bueno, Sergio, vamos con el test de la pelota. Has contestado, en la primera cuestión B, en la segunda B y en la tercera A. A ver que me puedes decir.

A.- Es que el ejercicio este no supe hacerlo. Me acuerdo de que lo pusieron en el examen y tampoco me enteré. Se que eran todas para abajo o algo así.

P.- Pero no te estamos evaluando ni juzgando.

A.- Sí, ya, ya.

P.- ¿ Por qué contéstate tú la A ?.

A.- Pues yo...según lo que había estudiado, creía que era lanzar la pelota así, hacia arriba. Pues que se ejercía una fuerza en la dirección en la que se había lanzado la pelota, y... no se...cuando estaba...cuando había llegado a su punto más alto...a lo mejor era por el viento, porque todavía mantenía esa fuerza...

P.- ¿ El viento ?. Aquí no se habla nada de viento, ¿ no ?.

A.- Sí, pero eso es lo que pensé yo. Que el rozamiento podría ser lo que mantuviese esa fuerza.

P.- O sea, que tú, a pesar de haber trabajado este tema en clase no te has enterado, ¿ no ?.

A.- No, si yo eso lo comprendí, pero con este ejemplo no ...

P.- ¿ Qué comprendiste ?.

A.- Lo de los vectores y las fuerzas y todo eso estaba facilillo, lo que pasa es que aquí no lo supe explicar.

P.- ¿ Qué fuerza crees que actúa sobre la pelota en todos los casos ?. Ahora, fuera del test.

A.- Por lo visto es todas hacia abajo pero no comprendo porqué.

P.- Vale, muy bien.

TEST III

P.- Vamos a ver, Sergio, en el test de movimiento, el del coche, has contestado: " que la posición es la misma y que la velocidad es distinta ". A ver cómo lo has razonado.

A.- Eh...¿ la posición era la misma ?, pero a los tres segundos, ¿ no ?.

P.- Sí. El enunciado te dice a los tres segundos.

A.- Pues había puesto que como el coche A iba a aceleración constante, que el otro, aunque su aceleración era uniformemente acelerada, pues que... o sea; que a lo mejor iban por el mismo recorrido y en un cierto tiempo se cruzaban, o sea, estaban en un mismo punto, pero que ya el otro, como su velocidad era distinta a la de éste, le adelantaba.

P.- Aquí has contestado que el coche A lleva una velocidad constante...

A.- Y en un momento dado se cruza con el otro. Hay un momento "t" en el que se cruzan. Es lo que tu decías: hay un momento "t" en el que ocupan la misma posición.

P.- ¿ Y por qué decías que la velocidad era distinta ?.

A.- Porque varía a cada segundo que pasa, o sea, no es la misma.

P.- Y eso, ¿ cómo lo sabes tú ?, ¿ con el gráfico que te dan ?.

A.- Simplemente veo que en un segundo se ha desplazado una distancia, y en otro segundo más no se ha desplazado lo mismo. O sea, que no es constante, que va aumentando.

P.- De todas maneras, ¿ recuerdas eso que has visto casi a principios de curso ?, o ahora ya estás un poco...

A.- No, no. Yo creo que no lo vimos a principio de curso...

P.- Hombre, a principio de curso no, pero habéis empezado con Física, y después habéis dado Química, ¿ no ?.

A.- Sí.

P.- Quiero decir que hace ya cierto tiempo. ¿ Recuerdas los temas y tienes los conceptos más o menos claros ?. O se te han borrado.

A.- Pues...sí, más o menos.

P.- Vale, Sergio, gracias por tu colaboración, ya puedes irte.

ENTREVISTA 2

TEST I

P.- A ver, Laura, vamos a ver lo que has contestado en el primer test. En la primera has contestado : " que hace más fuerza en el caso B, y que gasta más energía en el B también ", explica tu razonamiento.

A.- Pues bien, en los dos casos hay la misma altura, ¿ no ?, o sea, tiene que subir dos metros, entonces, como una rampa está más inclinada que la otra, pues... en la más inclinada tienes que hacer más fuerza, porque aunque en la otra hay más espacio, como que la rueda tiene que hacer más recorrido, pero tú tienes que hacer menos fuerza, y entonces, como haces el mismo trabajo pero utilizas menos fuerza, y entonces he puesto que el hombre al hacer más fuerza en uno, pues como que la fuerza está relacionada con la energía, entonces, si haces más fuerza en uno, pues haces también más energía.

P.- Y entonces respecto al trabajo, que tú has dicho que es el mismo, ¿ ves alguna relación entre el trabajo, la fuerza y la energía ?... Porque tú aquí dices que el trabajo es igual en los dos casos...

A.- El trabajo es el mismo porque hay la misma altura. Tienes que elevar el objeto a la misma altura, entonces el trabajo es el mismo. Pero no es la misma fuerza por eso, por la inclinación.

P.- Ni la misma energía según tú.

A.- No, ni la misma energía.

P.- Porque dices que cuanto mayor fuerza tienes que hacer tienes que gastar más energía. Bien, y esto es lo que pensabas.

A.- Sí, eso creía.

TEST II

P.- Muy bien, a ver el de la pelota, en que tú has contestado: en el primer caso: una flecha hacia arriba, en el segundo una flecha hacia abajo, y en el tercero una flecha hacia abajo. A ver si puedes explicarte.

A.- Yo en la primera he puesto una flecha hacia arriba porque si la pelota sube es porque tú le aplicas una fuerza superior a su peso, ¿ no ?, para que ascienda, pues si no es mayor la fuerza que tú le aplicas, pues... no se movería. Entonces, al darle

esa fuerza mayor con dirección para arriba, pues he puesto una flechita hacia arriba.

P.- Y, según tú, esa fuerza sigue todo el camino aplicada a la pelota, ¿ no ?.-

A.- ¿ Cómo ?.

P.- La fuerza aplicada al principio, sigue en cualquier punto de la trayectoria, ¿ no ?.

Porque tú has puesto al final también la flecha hacia arriba.

A.- No, yo al final...

P.- No, me refiero a cuando está todavía subiendo en el primer caso.

A.- Sí.

P.- Esa fuerza permanece todo el tiempo en la pelota, ¿ no ?

A.- Sí, lo que pasa es que luego, o sea, cuando llega hasta arriba, es como si se terminara esa fuerza, como si no fuera constante.

P.- Sí.

A.- Entonces, cuando está en el medio, ha llegado al punto más alto, pero sigue teniendo una fuerza, que es su peso, aunque la tuya ya no ejerza ninguna influencia, pero tiene su peso, y como es una fuerza pues he puesto una flecha hacia abajo, o sea, que con su peso tiende a bajar hacia abajo.

P.- Sí. Y en el tercer caso has puesto también para abajo.

A.- Sí, porque como está descendiendo he puesto una flecha hacia abajo, pues la fuerza ya no le influye para nada, sólo es su peso el que le hace ir para abajo.

P.- Cuando está subiendo, no has pintado el peso. ¿Es que en ese caso no hay peso ?

A.-Sí, pero como tú le das una fuerza mayor pues...

P.- Lo que tú indicas es la fuerza resultante.

A.- Sí.

P.- Muy bien.

TEST III

P.- En el test de movimiento, has contestado que en el instante " t " la posición es la misma, y que la velocidad de A es constante y la de B va aumentando. A ver qué razonamiento has utilizado.

A.- Sí, pues yo he visto que a los tres segundos el espacio era el mismo, o sea que el espacio recorrido era el mismo, entonces están en la misma posición. Lo que pasa es que la velocidad del primero es siempre la misma, o sea, que ni ha acelerado, ni ha disminuido su velocidad. Pero el otro, aunque al principio va más despacio, luego va aumentando su velocidad, y entonces llega al mismo punto que el A aunque haya empezado más despacio, puesto que ha ido acelerando.

P.- Bien, o sea que tú tenías bien diferenciado que una cosa es la posición y otra es la velocidad, cosa que no tenías muy clara la primera vez que hiciste el test. ¿ Esta parte te ha quedado clara ?.

A.- Sí, yo creo que sí.

P.¿ Por qué dices aquí que la velocidad es constante en el caso a y que en b va variando ?, ¿ qué te ha permitido saberlo ?.

A.- Pues...La distancia que hay entre un segundo y otro. En el primer caso la distancia entre un segundo y otro es siempre la misma. Y en el B, el espacio entre un segundo y otro va variando.

P.- Muy bien. Y ahora, aparte de los test te pregunto : ¿ qué opinas del método de trabajo que seguiste en esta asignatura ?.

A.- Pues a mí lo de los test, lo de hacerlos antes de que te expliquen cada tema, me ha gustado bastante, porque como se suponía que era algo libre, o sea, sabías que no te iban a poner nota, simplemente era lo que pensabas en ese momento, y que no tenías porqué saberlo, y entonces empleas más lo que tú sabes. O sea que te das cuenta...

P.- Te permitía autoevaluarte, ¿ no ?.

A.- Claro, te das cuenta de lo que sabes, y así después ya, cuando te lo explican, pues te es más fácil ver los fallos que has tenido.

P.- Y el sistema de trabajo, en cuanto a los equipos y el material en hojas que se os daba, ¿ qué te ha parecido ?, ¿ te ha servido ?...

A.- Sí. Lo de las hojas era más ameno que el libro, porque era algo hecho por ti en tu cuaderno, y era más divertido. Y lo del trabajo en grupo, pues también, porque era más activo.

P.- Y, ¿ tú crees que has entendido mejor la asignatura que si hubieses seguido una metodología tradicional como la de otros años ?.

A.- Hombre, mejor... no sé si puedo decir mejor, pero sí que te entran más ganas de ir a clase, te atrae más...

P.- ¿ Te sientes más motivada ?...

A.- Sí. Entonces, al tener más ganas de aprender siempre es mejor, yo creo.

P.- De todas maneras tú has elegido letras...

A.- Sí, pero yo he elegido letras por lo que quería hacer después, alguna filología...

P.- Era broma. Muchas gracias, Laura, puedes irte.

ENTREVISTA 3

TEST I

P.- A ver, Enrique, empezamos con el test de la rampa. Tú has contestado: " que hace más fuerza en B, y que gasta igual energía en ambos casos ". A ver si puedes razonarme por qué contestaste esto.

A.- Hace más fuerza en B porque la rampa es más inclinada y tiene que tirar más fuerte de ella para subirla. Y la misma energía porque aquí se hace más fuerza pero la rampa es menos inclinada o sea, que recorre menos espacio, y aquí hace menos fuerza pero la rampa es menos inclinada y tiene que recorrer más espacio. O sea, que al final gastan la misma energía.

P.- O sea, que tú esto lo tienes más o menos claro, ¿ no ?.

A.- Sí.

TEST II

P.- Bien, vamos a ver el test del problema. Has contestado : "En el caso primero la B, el de la pelota hacia arriba, en el segundo caso la C, y en el tercer caso la A." Y por detrás contestaste una serie de cosas. ¿ Ahora volverías a contestar lo mismo ?, ¿ por qué contestaste esto ?.

A.- Pues porque en ese momento no me lo había estudiado bien y no sabía... o sea, me dejé llevar más por lo que creía, o sea, que al tirar la pelota hacia arriba se hacía una energía hacia arriba y la flecha iba para arriba.

P.- ¿ Una energía ?...

A.- No, una fuerza. Se aplicaba una fuerza para arriba y había un momento en que se paraba, y yo creía que no se ejercía ninguna fuerza sobre la pelota. Y luego, hacia abajo la Tierra. Ahora no contestaría lo mismo.

P.- Pero se supone que este test lo has hecho después de haber estudiado. ¿ Qué es lo que te ha hecho a ti cambiar ?; ¿ la contestación de tus compañeros al salir ?

A.- No. Es que la profesora me lo explicó después de haber hecho el test, porque no lo comprendía, y le pedí que me lo explicara y me lo explicó.

P.- ¿ Ya te has aclarado ?.

A.- Sí.

P.- En todos los casos, ¿ qué fuerza es la que actúa sobre la pelota ?.

A.- Hacia abajo, la de la Tierra, la de la gravedad.

P.- Bien, veo que al final has captado el tema.

TEST III

P.- Enrique, en el test de movimiento has contestado : " que en el instante $t= 3$ seg. tienen la misma posición, y que A lleva velocidad constante, y que B va aumentando, o sea: ha ido acelerando." ¿ Qué crees que ocurre aquí ?.

A.- Lo que he dicho: que A lleva una velocidad constante porque pasa un segundo y recorre una distancia, y en el segundo siguiente recorre la misma distancia, y así sucesivamente.

P.- ¿ Y eso qué quiere decir ?.

A.- Que lleva velocidad constante. Que recorre en el mismo tiempo un mismo trayecto, o sea, en un segundo un trayecto, y al segundo siguiente un trayecto que es igual al primero. o sea que recorre siempre el mismo trayecto en el mismo tiempo. Y el B va acelerando porque en un segundo tiene una distancia, y, en el segundo siguiente la distancia no es la misma, sino que ha aumentado, o sea, que va cada vez más rápido, va acelerando.

P.- O sea, que yo te veo en los tres test contestando con bastante seguridad, a pesar de que te hayas examinado de suficiencia. ¿Cuál de estos tres ejercicios, en cuanto a conceptos, es el que más te ha costado ?.

A.- El de la pelota, al principio el de la pelota.

P.- El de la pelota, ¿ no ?, porque la idea de que va hacia arriba te sugiere una fuerza hacia arriba...

A.- Sí, yo me confundía totalmente, creía que al tirarla hacia arriba se hacía una fuerza, y por eso sube, le has aplicado una fuerza y le hace subir hacia arriba, y eso es lo que me confundía a mí hasta que me lo explicaron.

P.- Pero esto te lo habían explicado ya en clase, y sin embargo tú no...

A.- Pues, no estaría atendiendo, o no sé qué estaría haciendo...

P.- Lo importante es que al final lo has entendido, ¿ no ?.

A.- Sí.

P.- Bien, pues muchas gracias, Enrique, puedes marcharte.

ANEXO II
MUESTRA DE CUADERNOS DE ALUMNO