



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales

**LA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DE LOS
TEMAS Y CURSOS DE FÍSICA Y QUÍMICA
COMO INSTRUMENTO DE MEJORA DE SU
ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE**

Memoria

Presentada para optar al Grado de Doctora en Ciencias Físicas por:

Rafaela Verdú Carbonell

Dirigida por:

Dr. Joaquín Martínez Torregrosa

Valencia 2004

Joaquín Martínez Torregrosa, Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Valencia y Catedrático de Escuela Universitaria, de Didáctica de las Ciencias Experimentales, en la Facultad de Educación de la Universidad de Alicante,

CERTIFICA que la presente memoria con el título ***“LA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DE LOS TEMAS Y CURSOS DE FÍSICA Y QUÍMICA COMO INSTRUMENTO DE MEJORA DE SU ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE”*** ha sido realizada por Rafaela Verdú Carbonell bajo mi dirección y constituye la tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Físicas.

Para que así conste, y en cumplimiento de la legislación vigente, presento esta memoria de Tesis Doctoral firmando el presente certificado en Alicante a 29 de junio de 2004

Fdo. Joaquín Martínez Torregrosa

A mis padres por su generosidad

La realización de un trabajo como este ha sido posible gracias a la ayuda, colaboración y participación desinteresada de muchas personas, profesores y alumnos. A todas ellas quiero expresar mi más sincero agradecimiento y de una especialmente a:

Al Dr. Joaquín Martínez Torregrosa, director de este trabajo, por su apoyo y colaboración para realizar el mismo, por sus muestras de animo en los momentos de duda, por sus consejos a la hora de realizar y planificar este trabajo y su colaboración inestimable en la elaboración y orientación de los materiales probados en clase, y por su amistad.

Al Departamento de Didáctica de Ciencias Experimentales y Sociales de la Universidad de Valencia, especialmente a Dr. Carlos Furió Más y a Dr. Daniel Gil Pérez, maestros para muchos de nosotros por sus trabajos pioneros en este campo, que han sabido contagiar a un gran número de personas que trabajamos en la Didáctica de las Ciencias, por sus muestras de ánimos y sus sabios consejos a lo largo de estos años.

A mis compañeros del grupo de Física y Química que desde los años ochenta empezamos esta andadura, Manuel Alonso, José Luis Doménech, M^a Ángeles Doménech, Francisco Carbonell y Luis Osuna, por su colaboración a la hora de realizar los materiales, sus sugerencias al discutirlos y la experimentación de los mismos en sus clases.

A los numerosos profesores, amigos, compañeros y alumnos que han contribuido con sus opiniones a mejorar este trabajo, a los que han permitido que este trabajo haya sido posible facilitando que se pase las pruebas a sus alumnos, a todos ellos mi sincero agradecimiento.

Y por último debo agradecer a mi familia la infinita paciencia y apoyo incondicional para que pueda realizar este trabajo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E ÍNDICE

¿Qué vamos a tratar y qué interés puede tener?

En la actualidad existe un amplio consenso entre los investigadores en didáctica de las ciencias en que el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias se desarrollen como un proceso de (re)construcción de conocimientos en un contexto de investigación. Así, en el último de los grandes diseños curriculares, los National Science Education Standards (NSES, 1996), se proclama que “en todos los niveles, la educación científica debe basarse en la metodología de la investigación”, como forma de favorecer, tanto una actividad significativa, en torno a problemas susceptibles de interesar a los estudiantes, como su progresiva autonomía de juicio y capacidad de participación en tareas colectivas.

Desde principios de la década de los ochenta (Furió y Gil, 1978; Gil, 1982, 1993), nuestro grupo de investigación ha estado desarrollando propuestas y materiales concretos para el aula, dentro de esta misma orientación, desde el modelo que hemos llamado “de enseñanza por investigación orientada”. En este modelo (Gil, 1983), se concibe el aprendizaje como un proceso de evolución y cambio conceptual y epistemológico, y la enseñanza como la puesta en práctica del plan de actividades para favorecer dicho cambio y la implicación axiológica necesaria para ello. En él se propone expresamente organizar la enseñanza a partir del tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, a partir de problemas.

Las investigaciones realizadas hasta aquí dentro del modelo de enseñanza por investigación orientada se han centrado en la modificación de aspectos parciales de la enseñanza de la Física y Química, como los trabajos prácticos, la resolución de problemas de “lápiz y papel”, las relaciones ciencia-técnica-sociedad-ambiente (CTSA), las actitudes o la evaluación, y en la elaboración y puesta a prueba de temas concretos de Física o Química.

El objeto de esta investigación, en cambio, es más global: pretende, recogiendo la experiencia de más de veinte años en elaboración de materiales para el aula dentro del modelo de investigación orientada, **abordar el problema de la planificación sistemática de los temas y los cursos dentro de este modelo y el efecto de la estructura problematizada sobre el aprendizaje y actitudes de alumnos y profesores.**

Así pues, los grandes objetivos de este trabajo son dos:

- Mostrar que es posible sistematizar –dentro de lo factible y deseable- la elaboración de estructuras problematizadas de temas y cursos de Física y Química, incorporando las innovaciones y los hallazgos de la investigación didáctica de los últimos años.
- Obtener evidencias que apoyen que dicha forma de estructurar los temas y los cursos produce mejoras sustanciales en el aprendizaje y actitudes de los alumnos y genera expectativas positivas en los profesores

Aspiramos, en definitiva, a contribuir a la coherencia y consolidación de las nuevas propuestas sobre la enseñanza de las ciencias, mostrando la posibilidad de incorporarlas de manera articulada en la estructura de los temas y los cursos. Del mismo modo que la enseñanza por transmisión verbal de conocimientos en su estado final supone unos criterios determinados para planificarla (taxonomía de objetivos, organización y jerarquización en torno a conceptos, trabajos prácticos como ilustración de lo ya transmitido, ejercitación en problemas-tipo con enunciados cerrados, evaluación como constatación de lo aprendido), la enseñanza por investigación orientada también supone una planificación distinta, y nuestro objetivo es analizar y sistematizar esta forma de estructurar temas y cursos; y mostrar su influencia como instrumento para aprender y enseñar mejor.

Esta memoria se divide en dos partes. En la primera parte abordaremos por qué y cómo organizar la enseñanza de la Física y la Química en torno a problemas. En dicha parte, haremos un análisis de las propuestas que conciben el aprendizaje y la enseñanza como un proceso de construcción interactiva (por alumnos y profesor) de conocimientos en el aula, justificando la conveniencia de que el

aprendizaje y la enseñanza se produzcan en un contexto problematizado, hipotético-deductivo, y saliendo al paso de algunas críticas que se han realizado a esta concepción. A continuación propondremos una forma de planificar los temas y los cursos coherente con dicho modelo de enseñanza/aprendizaje/evaluación, y mostraremos que es posible llevarla a cabo mediante la concreción de ejemplos variados de temas y cursos que hemos elaborado y llevado a la práctica durante años (más de 10 años en algunos casos) y otros que son objeto de investigación en la actualidad (fruto de tesis doctorales recientes o en marcha).

La segunda parte está destinada a someter a prueba la hipótesis según la cual dicha forma de estructurar los temas y los cursos, independientemente de los temas y/o el nivel de los alumnos, produce mejoras sustanciales en el aprendizaje y apropiación de lo tratado, por parte de los alumnos, y es percibida con expectativas muy positivas por aquellos profesores que reflexionan sobre la propuesta. En esta segunda parte, tras operativizar la hipótesis, presentaremos los diseños experimentales que hemos utilizado y los resultados obtenidos.

Desarrollaremos estos aspectos según el siguiente ÍNDICE:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E ÍNDICE.....	9
¿Qué vamos a tratar y qué interés puede tener?	9
PRIMERA PARTE	15
CAPÍTULO 1	17
EL APRENDIZAJE DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS Y PROPUESTAS PARA SU ENSEÑANZA DENTRO DE LA ORIENTACIÓN CONSTRUCTIVISTA	17
1.1. Introducción y planteamiento del problema: del interés por las respuestas correctas al interés por el significado.....	17
1.2. Posibles causas de la persistencia de las concepciones alternativas	21
1.3. Una concepción psicológica constructivista sobre cómo se produce el aprendizaje con comprensión.....	27
1.4. Algunas propuestas sobre cómo organizar la enseñanza dentro de la orientación constructivista.....	37
1.4.1. Modelos de enseñanza/aprendizaje como cambio conceptual.....	38

1.4.2. Críticas a las estrategias de cambio conceptual.....	40
1.4.3. Necesidad de que se produzcan simultáneamente el cambio conceptual, epistemológico y la implicación actitudinal	43
1.4.4. Críticas a los modelos de enseñanza de las ciencias por investigación orientada o por resolución de problemas.	55
1.5. Un consenso, en aspectos fundamentales, cada vez mayor	67
CAPÍTULO 2	71
UNA PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS TEMAS Y LOS CURSOS EN EL MODELO DE ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN	71
2.1. La transformación de las prácticas de laboratorio y de los problemas de lápiz y papel....	72
2.2. La transformación de la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos y modelos.....	79
2.3. La organización de los temas y los cursos dentro del modelo de enseñanza por investigación dirigida	89
CAPÍTULO 3	99
RESULTADOS QUE MUESTRAN QUE ES POSIBLE ORGANIZAR LOS TEMAS Y CURSOS CON UNA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA	99
3.1 Ejemplo 1: Fragmentos del programa-guía sobre “Las estaciones del año y el movimiento del Sol y la Tierra” (astronomía) que muestran aspectos de interés.....	105
3.2 Ejemplo 2: Fragmentos del programa-guía del tema “¿Cómo vemos? ¿Cómo podríamos ver mejor?” con una estructura problematizada.....	115
3.3 Ejemplo 3: La planificación de la estructura problematizada de una gran síntesis: “la Mecánica Newtoniana” (Cinemática y Dinámica).....	135
CAPÍTULO 4	185
RECAPITULACIÓN DE LA PRIMERA PARTE	185
SEGUNDA PARTE	189
CAPÍTULO 5	191
¿EN QUÉ MEDIDA LA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DE TEMAS Y CURSOS FAVORECE EL APRENDIZAJE?	191
5.1. Formulación y justificación de la hipótesis	191
5.2. Operativización de la hipótesis en consecuencias directamente contrastables.....	196
5.3. Diseños experimentales	199

5.3.1. Diseño experimental para obtener evidencias de las mejoras que produce la enseñanza problematizada en los indicadores de apropiación y en las actitudes de los alumnos.....	199
5.3.2 Diseño experimental para obtener evidencias sobre las expectativas positivas generadas por la organización de los temas y cursos como problemas en los profesores de física y química	245
CAPÍTULO 6	261
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	261
6.1. Efecto de la estructura problematizada en el aprendizaje conceptual, apropiación de lo tratado y actitudes de los alumnos.....	264
6.1.1 Resultados que muestran que los alumnos que reciben instrucción según la estructura problematizada propuesta, alcanzan mejores resultados en los indicadores comprensión conceptual.	264
6.1.2. Efectos de la estructura problematizada en la apropiación de lo tratado y las actitudes de los alumnos.	278
6.2. Resultados sobre las expectativas generadas por la organización de los temas y cursos como problemas en los profesores de física y química en activo.....	361
CAPÍTULO 7	387
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	387
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	397
Referencias bibliográficas	406
ANEXO I:.....	429
A.-Ejemplos de transformación de títulos enunciativos en títulos interrogativos	430
B. Ejemplos de planificación de los temas y cursos.....	432
Preguntas que guían la toma de decisiones	432
Metas Orientadoras, Problemas Y Objetivos Claves	434
C. Ejemplos de producciones de los alumnos experimentales.....	450
1. Ejemplos de contestaciones a las preguntas sobre diferencias y semejanzas de los movimientos.....	450
2.- Ejemplos de gráficos realizados por los alumnos	453
3. Ejemplos de resúmenes realizados por los alumnos de 4º ESO	457
ANEXO II	465
Ejemplos de valoraciones de cuestionarios abiertos.....	467

1. Valoración de las respuestas del cuestionario C1 (en mitad de un tema).....	467
2. Valoraciones de las respuestas a los cuestionarios C2 y C3.....	472
3. Valoración de las respuestas al cuestionario C4.....	475
4. Valoración de la justificación de la valoración sobre norma en el cuestionario C8	483

PRIMERA PARTE

EL APRENDIZAJE DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS Y PROPUESTAS PARA SU ENSEÑANZA DENTRO DE LA ORIENTACIÓN CONSTRUCTIVISTA

1.1. Introducción y planteamiento del problema: del interés por las respuestas correctas al interés por el significado

Como señalaba Moreno (1986), y más recientemente Jiménez Aleixandre (2000, p.167), toda concepción de la enseñanza o propuesta docente, supone implícita o explícitamente una determinada concepción de la inteligencia y su funcionamiento, y debería añadirse que si se trata de la enseñanza de las ciencias supone también una determinada concepción sobre la epistemología de la ciencia, es decir sobre cómo se producen los conocimientos científicos, pues toda enseñanza de las ciencias transmite una imagen de la ciencia y el trabajo científico (Hodson, 1992).

La enseñanza por transmisión verbal de conocimientos en su estado final, ya acabados, - aún la más extendida en nuestro país-, supone una concepción de la inteligencia que la considera susceptible de enriquecerse y ampliarse con la aportación de conocimientos que el sujeto va incorporando a medida que se le transmiten. Puede estar, además, acompañada de ideas empiristas que exigirán que la aportación de nuevos conocimientos vaya auxiliada con demostraciones experimentales que los corroboren. Se apoya en el conductismo y el empirismo asociacionista, en el mito del origen sensorial de los conocimientos científicos (ya criticado por Piaget, 1969), que acepta que el conocimiento se forma a partir de sensaciones exteriores con significado unívoco en sí mismas, reduciendo la actividad del sujeto a la fijación del conocimiento que viene dado desde fuera. Esta concepción de la inteligencia, vigente, según Novak (1988), durante los tres

primeros cuartos del siglo XX, encaja con una concepción empiro/inductivista de la ciencia (abandonada en los años 50), cuya premisa fundamental es que el conocimiento científico se basa en la observación, que constituye una base segura y verdadera sobre la que construir el conocimiento. Según esta concepción, por generalización inductiva de un número suficientemente grande de observaciones obtenidas cuidadosamente, con la mente libre de prejuicios, se derivan las leyes y teorías que constituyen el conocimiento científico.

Según el modelo asociacionista de instrucción, se supone que es posible transmitir significados ya elaborados: una explicación clara y bien presentada por el profesor debería producir, -junto con los clásicos ejercicios ejemplificadores y experimentos ilustrativos- una adquisición de los conceptos que se mostraría por las respuestas y conductas adecuadas ante situaciones típicas. De hecho, la enseñanza de los conocimientos teóricos no es un problema que, desde un punto de vista histórico, haya preocupado mucho al profesorado de ciencias, probablemente porque los alumnos aparentemente muestran menos dificultades en la contestación de las preguntas teóricas que en otros aspectos, como la resolución de problemas o el desarrollo de destrezas de investigación, o porque se consideraba que las deficiencias para comprender conceptos eran fruto únicamente de "falta de estudio o capacidad". En consecuencia, hasta hace unos veinticinco años había más investigación sobre resolución de problemas, evaluación o trabajos prácticos que sobre el aprendizaje y enseñanza de conceptos concretos. Trabajos pioneros como la tesis de Laurence Viennot (1976), en Mecánica, mostraron cómo esta creencia exculpatoria para la enseñanza y determinista para los alumnos, no era fácil de sostener. Los resultados que obtuvo al plantear a los estudiantes preguntas que no permitían la verbalización repetitiva, preguntas del tipo "una piedra cae desde cierta altura en 1 segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?", o "dibuja las fuerzas que actúan sobre un cuerpo que ha sido lanzado oblicuamente cuando esta subiendo, en su posición más alta y cuando está bajando", pusieron en cuestión la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos. Los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas novedosos y sin una imagen adecuada del trabajo científico, algo de lo que existía clara conciencia (Ausubel, 1978), sino que la

inmensa mayoría de los estudiantes no había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez Torregrosa, 1991), y no sólo aquéllos que suspendían sino los que obtenían calificaciones elevadas. Particularmente relevante era el hecho de que esos errores no constituían simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se expresaban, sobre todo en Física, como ideas muy seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles (incluyendo a un porcentaje significativo de profesores).

No es de extrañar, pues, que el estudio de lo que se denominó inicialmente errores conceptuales, y más recientemente concepciones alternativas, se convirtiera rápidamente en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una particular atención, como si conectara con algo que, en cierto modo, se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente. Desde finales de los años 70 la identificación de concepciones alternativas relevantes ha dado lugar a una abundante literatura [ver amplias selecciones bibliográficas en Osborne y Wittrock (1983); Carrascosa (1983 y 1985); Driver, Guesne y Tiberghien (1989); Hierrezuelo y Montero (1989); Carrascosa y Gil, (1992); Wandersee, Mintzes y Novak, (1994); Pfundt y Duit, (2004)]. Todos los campos de las ciencias han sido analizados: la Mecánica en primer lugar, en donde se dan las ideas alternativas más persistentes (McDermott, 1984_a; McDermott, 1984_b; Sebastián, 1984; Fernández, 1987; Carrascosa y Gil, 1992), pero también la Termodinámica elemental (Macedo y Soussan, 1985; García Hourcade y Rodríguez de Ávila, 1985; Cervantes, 1987; Koliopoulos y Rovanis, 1998), las ondas mecánicas (Maurines, 1992 y 2003; Perales, 1997; Welti, 2002), la Electricidad (Varela, et al., (1989); Varela, 1994; Guisásola y Furió, 1998), la Óptica (De la Rosa, et al., 1984; Goldberg y McDermott, 1986; Kaminski y Viennot, 1989; Osborne, Black et al., 1993; Selley, 1996_a y 1996_b; Galili, 1996; Fler, 1996; Osuna, 2001, y Martínez Torregrosa y Osuna, 2001), la Astronomía (Nussbaum, 1989; Sharp, 1996; Martínez Sebastián, 2003), la Biología (Jiménez Aleixandre, 1987; de Manuel y Grau, 1996; Caballer y Gímenez, 1992; y 1993; Cañal, 1990 y 1991; Banet y Núñez, 1988 y 1989; Núñez y Banet, 1996), la Ecología (Leach et al., 1995; 1996_a; 1996_b), la Geología (Granda, 1988; Pedrinaci, 1996) o la Química (Pfundt, 1981; Furió, 1983 y 1986 ; Fernández et al., 1988;

Carbonell y Furió, 1987; Azcona y Furió, 1993; Furió et al., 1993; Grupo Alkalí 1990; Gómez Crespo, 1996; Caamaño, 1994 y 2003; Furió et al., 2000; Furió et al., 2002), por poner sólo algunos ejemplos.

En nuestro país numerosas tesis doctorales han realizado aportaciones relevantes en este campo, posiblemente el más desarrollado de la investigación didáctica entre nosotros (Gené, 1986; Solbes, 1986; Carrascosa, 1987; Llorens, 1987; Jiménez Aleixandre, 1989; Sanmartí, 1990; Cañal, 1990; Guisásola, 1996; Hernández, 1997; Doménech, 2000; Furió et al., 2000; López-Gay, 2002; a título de ejemplo), poniendo a punto, simultáneamente, métodos específicos de la investigación didáctica: entrevistas clínicas semiestructuradas, cuestionarios abiertos y semiabiertos; grabaciones de diálogos entre alumnos en situación de clase; dibujos comentados; mapas conceptuales; etc.

Toda esta investigación no se ha limitado, claro está, a describir las concepciones alternativas más frecuentes. Como veremos a continuación, ha ido acompañada de un profundo cuestionamiento de la enseñanza habitual. En efecto, como expresa Gil (1986), el principal interés de las investigaciones sobre las ideas espontáneas o concepciones alternativas, como fueron llamadas posteriormente, no reside en el conocimiento detallado de cuáles son en cada campo -aún cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje- sino en que esta línea de investigación está asociada al surgimiento de una nueva concepción del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, surgida de trabajos y líneas inicialmente independientes pero convergentes en sus conclusiones, que se puede denominar modelo u orientación constructivista, y que han dado lugar a propuestas metodológicas fundamentadas para la enseñanza de las ciencias. Debemos añadir, que estos trabajos también han contribuido a poner en cuestión interpretaciones simplistas sobre la motivación y actitudes de los alumnos. En particular, la creencia de que era "natural" un elevado porcentaje de alumnos con actitudes negativas hacia materias científicas ("de alta exigencia intelectual"), como la física y la química, pues "no todas las personas tienen la motivación y capacidad necesarias". En efecto: si se encontraba que tanto los alumnos con calificaciones elevadas como los que no las tenían pensaban (erróneamente)

prácticamente lo mismo sobre concepciones básicas, ¿no podría ser que buena parte de los alumnos no encontrara interés alguno en materias donde existe una gran diferencia entre lo que se impartía en el aula y lo que pensaban sobre aspectos cotidianos relativos al tema tratado?, ¿podía esperarse "motivación por aprender" cuando no se puede utilizar lo que se dice que es "muy importante" en el aula para dar sentido al mundo?

Con el fin de avanzar hacia el desarrollo de estas propuestas de un modo lógico, conviene analizar posibles causas de las ideas alternativas y su persistencia, la concepción constructivista del aprendizaje humano que explica esta situación y, por último, modelos de enseñanza de las ciencias dentro de esta orientación.

1.2. Posibles causas de la persistencia de las concepciones alternativas

Los intentos de explicación de la abundancia y persistencia de errores conceptuales en numerosos dominios de las ciencias han apuntado básicamente a dos causas, relacionadas, además, entre sí. Por una parte, se ha barajado la hipótesis -con unos u otros matices- de que esos "errores" constituyen más bien ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tenían previamente al aprendizaje escolar. En segundo lugar, la atención se ha dirigido hacia el tipo de enseñanza habitual, poniendo en duda que la transmisión de conocimientos elaborados haga posible una recepción significativa de los mismos, es decir, haga posible que los alumnos pasen a tener las ideas que se les han transmitido.

Las primeras investigaciones condujeron muy rápidamente a distintos autores a verificar la hipótesis más plausible: la de la existencia en los niños de ideas sobre conceptos científicos previas a la enseñanza escolar de los mismos, y que fueron designadas como teorías ingenuas (Caramazza et al., 1981), ciencia de los niños (Gilbert et al., 1982; Osborne et al., 1983), esquemas conceptuales alternativos (Driver y Easeley, 1978), representaciones (Giordan, 1985), etc. Dicha comprobación no fue muy difícil. En efecto, ¿qué características cabría

esperar que tuvieran los errores conceptuales si fueran debidos a la existencia de ideas espontáneas? Parece lógico suponer que, en ese caso, serían:

- Previos a la enseñanza de los aspectos a que se refieren.
- Generalizados (distintas escuelas, distintos países,..).
- Utilizados en situaciones cotidianas, es decir útiles para pensar y comunicarse, compartidos por la comunidad.
- Semejantes a conceptos que se mantuvieron a lo largo de la Historia de la Ciencia (si son ideas espontáneas, y el medio físico en el que se desarrollan las experiencias primarias no es muy distinto, deberían haber existido mucho antes).
- Difíciles de superar (si eran útiles para la vida cotidiana difícilmente serían sustituidos por ideas limitadas a contextos académicos).

La comprobación de estas características por distintos equipos de investigadores, hace que actualmente no hay duda sobre la existencia de concepciones espontáneas previas a la instrucción escolar sobre numerosos conceptos básicos de las Ciencias. La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos, han confirmado buena parte de las características anteriores. Así, Driver (1986) afirmaba, hace casi veinte años, que los conocimientos previos de los alumnos:

- Parecen dotados de cierta coherencia interna (por eso habla de "esquemas conceptuales", si bien, dicha "racionalidad" está basada en premisas distintas de las científicas).
- Son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades.

- Presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento¹ (Clement, 1983).
- Son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada².

Conviene señalar que, aunque el interés por las concepciones espontáneas es reciente, existen precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la "prehistoria del aprendizaje" (Vigotsky, 1973, original de 1939), o se refirieron al hecho de que "a menudo se conoce contra un conocimiento" (Bachelard, 1938). Conviene no olvidar tampoco que los trabajos de Piaget (1971) plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos, o los de Ausubel (1978, 1ª edición en 1968), quien llega a afirmar: *"si tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averígüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente"*.

Y aunque se debe salir al paso de la creencia de que todas las dificultades que tienen los alumnos para comprender, por ejemplo, la Mecánica Newtoniana, proceden de la existencia de estas concepciones alternativas, es necesario admitir, como señalaba Helm (1980), que la gran amplitud con que son retenidas puede estar diciéndonos algo muy importante sobre nuestros alumnos y nuestros métodos de enseñanza, manifestando la necesidad de un replanteamiento fundamentado de la didáctica habitual.

¹ Por nuestra parte (Martínez Torregrosa, Doménech y Verdú, 1993) preferimos afirmar que se ha comprobado que las ideas espontáneas más arraigadas son concordantes con ideas del pensamiento científico cuya superación supuso avances importantes en la ciencia. Y a la inversa: las grandes barreras en el pensamiento científico coinciden con "puntos negros" en el aprendizaje de la Física, especialmente en Mecánica (ver Doménech y Doménech, 1990), pero también en el cálculo diferencial (Martínez Torregrosa et al., 2002_a) o en Óptica (Martínez Torregrosa y Osuna, 2001)

² Conviene puntualizar, también, que esta persistencia no es igual en todos los campos de las ciencias, como se comprueba al realizar estudios comparativos de la evolución de distintas ideas alternativas con la edad (Gil y Carrascosa, 1990): mientras que las ideas erróneas sobre la conservación de la masa en las reacciones químicas o sobre la estructura corpuscular de la materia, disminuyen sensiblemente con la edad, las respuestas erróneas sobre conceptos básicos de Mecánica dadas con alto grado de seguridad, aumentan con la escolarización!.

De un modo global, los hallazgos que -según Wandersee, Mintzes y Novak -en su revisión de 1994- sobre la investigación en concepciones alternativas en ciencias- “representan las conclusiones de estudios realizados en todo el mundo y que reflejan un consenso emergente”, pueden resumirse en:

- 1. Los estudiantes llegan a las clases de ciencias con un conjunto variado de concepciones alternativas sobre objetos y hechos de la naturaleza.**
- 2. Las concepciones alternativas que traen los estudiantes a la instrucción formal atraviesan fronteras de edad, capacidad, género, y límites culturales.**
- 3. Son persistentes y resistentes a la desaparición mediante estrategias de enseñanza convencionales.**
- 4. Las concepciones alternativas son semejantes, con frecuencia, a las explicaciones de los fenómenos naturales sostenidas por generaciones previas de científicos y filósofos.**
- 5. Las concepciones alternativas tienen sus orígenes en un conjunto variado de experiencias personales, incluyendo la observación y percepción directa, la cultura y el lenguaje del entorno próximo, y también las explicaciones de los profesores y los materiales de instrucción.**
- 6. Los profesores, a menudo, tienen las mismas concepciones alternativas que sus estudiantes.**
- 7. Los conocimientos previos de los alumnos interactúan con los conocimientos presentados en la instrucción formal, dando lugar a un conjunto variado de resultados de aprendizaje no pretendidos.**

Como se señala en la 5ª conclusión, los orígenes de las ideas espontáneas están ligados a un conjunto variado de experiencias personales, que incluyen la observación y percepción directas, la cultura y el lenguaje del entorno próximo. Sobre este aspecto volveremos más adelante. Lo que nos interesa en este momento es el papel de la enseñanza en la persistencia de dichas ideas, es decir, parece lógico que existan dichas ideas, pero ¿cómo explicar que después de años

de instrucción las ideas de los estudiantes sean muy similares a las de las personas que no han recibido instrucción?

UNA ENSEÑANZA INADECUADA DE LAS CIENCIAS COMO CAUSA DE LA PERSISTENCIA DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

El grave problema que plantean los resultados de estas investigaciones, como acabamos de señalar, no es que las personas tengan ideas espontáneas que afectan al aprendizaje de conocimientos científicos antes de que se enseñen, el problema es que estas concepciones alternativas se dan incluso después de varios años de instrucción, y en alumnos que han obtenido altas calificaciones. A modo de ejemplo puntual, se han realizado estudios desde el curso 1996/97 sobre lo que piensan los alumnos de primer curso de Magisterio (Martínez Torregrosa, 2001) y se ha constatado que más del 80 % piensan, por ejemplo, que la práctica totalidad del aumento de peso que experimenta un árbol en sus primeros años de vida, proviene del agua y del suelo; que es más peligroso dormir en una habitación cerrada con una planta que con un animal doméstico porque las plantas respiran al revés que los animales; que la corriente se consume en las bombillas; que un astronauta en órbita no es atraído por la Tierra o está "flotando"; etc. Y la diferencia en porcentaje entre los que tenían una formación en "ciencias puras" y los que la tenían en "letras puras" no es relevante (dentro del 10 %) desde el punto de vista educativo. El haber tratado reiteradamente la fotosíntesis o la Mecánica (más los de ciencias que los de letras), no ha afectado a sus ideas espontáneas sobre el crecimiento de las plantas o el movimiento de un astronauta.

No parece, pues, infundado pensar que buena parte de los profesores no tienen en cuenta la existencia de ideas espontáneas en los estudiantes o minusvaloran su influencia sobre el aprendizaje. Y no se trata, en general, de una actitud de despreocupación por su parte: en la mayoría de los casos, por experiencia, saben que existen "puntos negros" en determinados temas, puntos en los que suelen detenerse, volver a repetir, tratar de explicarlos de modos distintos, con resultados, en general, poco alentadores. Como señalaba Bachelard (1938), hace más de 60 años, "me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se

comprenda (...). No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de Física o de Biología con conocimientos empíricos ya constituidos: se trata, pues, no de adquirir una cultura experimental, sino mas bien de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana".

Esa ausencia de atención a lo que el alumno o la alumna pueda pensar, a los obstáculos que esas concepciones espontáneas puedan representar, resultaba muy evidente en los libros de texto con los que estudiaron buena parte de los actuales profesores de ciencias, como han mostrado diversos análisis (Gené, 1986; Carrascosa, 1987). Puede decirse, en efecto, que en la gran mayoría de los textos de ciencias, anteriores a 1986:

- no se incluyen actividades que permitan poner de manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de los temas estudiados;
- no se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos implicados;
- no se incluyen observaciones que llamen la atención sobre las ideas que históricamente han supuesto una barrera a la construcción de los conocimientos (y que podrían constituir también una barrera para el aprendizaje de los alumnos) en el dominio considerado;
- no se incluyen actividades para ver en qué medida se ha conseguido la comprensión real de los conceptos introducidos, en qué medida las concepciones precientíficas han sido superadas.

Dada la influencia de los libros de texto, y nuestra propia experiencia en la formación de profesores, en general, podemos afirmar que existe una creencia extendida de que basta transmitir los conocimientos científicos, "tal como son", de forma clara y ordenada para que los alumnos que estudian y hacen los ejercicios los comprendan. Creencia falsa, como han mostrado cientos de trabajos, no sólo

por los resultados empíricos sobre la persistencia de las ideas alternativas, sino también por el fracaso generalizado de los alumnos cuando (en Física y Química, al menos) se enfrentan a un problema de "lápiz y papel" que se separe, aunque sea ligeramente, de los desarrollados en clase (Gil y Martínez Torregrosa, 1984, 1986, 1987_a; Martínez Torregrosa, 1987; Ramírez, Gil y Martínez Torregrosa, 1994; Becerra et al., 2004), es decir, cuando han de utilizar sus conocimientos en contextos novedosos, en los que sólo un aprendizaje significativo puede ser útil para avanzar.

Se hizo, pues, evidente la necesidad de buscar nuevas estrategias de enseñanza que hicieran posible la superación de las concepciones espontáneas por los conocimientos científicos. Las líneas de investigación con este objetivo, han dado lugar a propuestas que -al margen de algunas diferencias no menores- coinciden básicamente en concebir el aprendizaje de las ciencias como un proceso de construcción de conocimientos, en el que los conocimientos previos de los alumnos tienen un papel esencial y activo.

A continuación presentaremos, con cierto detalle, la concepción psicológica sobre el aprendizaje humano que subyace a todas esas propuestas, y que permaneció eclipsada, hasta la década de los setenta, por las tendencias conductistas que no creían útil formular hipótesis sobre aspectos no observables.

1.3. Una concepción psicológica constructivista sobre cómo se produce el aprendizaje con comprensión

De un modo resumido, la concepción constructivista del aprendizaje sostiene que "en una situación determinada, los seres humanos construyen sus propios significados a partir de sus conocimientos previos".

Como señalaba Driver (1986), toda persona, durante su vida, va creando espontáneamente un sistema de ideas, de creencias, sobre cómo ocurren las cosas que nos permite generar expectativas que nos hacen capaces de predecir hechos futuros. Estos sistemas de creencias son, afortunadamente, muy estables: sin dichas expectativas viviríamos en un estado de continua desorientación y

sorpresa. Así, el hecho de que podamos conducir por nuestras carreteras sin que ocurran más accidentes es posible porque el conjunto de expectativas que hemos desarrollado nos permite predecir la velocidad y el movimiento de otros vehículos (pensemos, por ejemplo, cuando en fracciones de segundo decidimos cruzar en un cruce complejo). Del mismo modo, si nos lanzan un objeto nuestra disposición para recogerlo es distinta según nuestra "percepción" del mismo (este hecho debe ser conocido por algunos grupos de teatro que consiguen alarmar seriamente a los espectadores con esferas de "goma espuma o porespán", pintadas de modo que parezcan metálicas, al lanzarlas al público tras aparentar la realización de grandes esfuerzos).

El significado es construido interiormente por el sujeto cuando actúa sobre el objeto. Lo que el sujeto aporta a esta construcción -y ello depende fundamentalmente de sus esquemas conceptuales previos- es, al menos, tan importante como el dato exterior que en este caso no actúa más que de señal iniciadora del proceso. La "fabricación" de significado ante una situación lleva tiempo, normalmente imperceptible cuando se trata de situaciones cotidianas en las que las expectativas del individuo encajan fácilmente en el contexto. Por ejemplo, cuando nos encontramos con otra persona en el pasillo de nuestra casa a una hora muy temprana esperamos (en general) una interacción del tipo "buenos días" o algo parecido; si la otra persona nos dice una frase que no tiene nada que ver con nuestras razonables expectativas ante esa situación, solemos no entenderla y pedirle que la repita. No se trata de que el sonido no haya llegado a nuestros oídos, sino que la señal exterior y nuestras expectativas eran demasiado distintas como para poder construir rápidamente un significado³. Si eso nos produce desorientación puede imaginarse lo que ocurrirá en situaciones complejas en las que se tengan ideas espontáneas arraigadas.

³ Una situación análoga, y clara para poder reflexionar sobre ella, es lo que ocurre en clase - con alumnos del CAP de Física y Química, o de primeros cursos de carrera- cuando se dicta pausadamente, con tiempo para que puedan imaginarse la situación, el siguiente problema: "Dos esferas de madera están insertadas en un anillo circular de alambre por el cual pueden moverse sin rozamiento. Se unen las dos esferas con un hilo muy fino y se cuelga todo el conjunto del techo, de manera que ambas esferas quedan en la parte superior del anillo. Al quemar el hilo que une las esferas, estas comienzan a deslizarse, una por cada lado, por el anillo. Hallar la posición de las esferas *en que se elevará el anillo*". ¡La práctica totalidad de los alumnos no "oyen bien" la última frase!

No es sorprendente, si pensamos de este modo admitir, que nuestros alumnos han construido también conjuntos de expectativas y creencias sobre una serie de fenómenos naturales, sociales, estructuras lingüísticas,..., y que estas ideas son usadas al construir significados: los datos que les llegan del exterior, incluidas las percepciones directas, son elaborados, transformados e interpretados de acuerdo con su sistema, de tal manera que puedan integrarse en éste y le resulten comprensibles. La información que se le transmite en clase corre exactamente la misma suerte.

La perspectiva constructivista sugiere que más que "extraer" conocimiento de la realidad, la realidad sólo adquiere sentido en la medida en que la construimos (Driver, 1986). La elaboración de un significado, ya sea a partir de un texto, de un diálogo o de una experiencia física, implica un proceso activo de formulación interna de hipótesis o realización de ensayos consistentes con el aprendizaje anterior. Este significado es algo adicional y distinto al estímulo y al conocimiento ya existente: construir significado requiere esfuerzo por parte del que aprende para generar relaciones entre los estímulos y la información acumulada (requiere "generar y probar") (Osborne y Wittrock, 1985). Si hay acuerdo, decimos que "comprendemos", en caso contrario intentamos con nuevas construcciones o abandonamos la situación como "carente de sentido". Es decir, buscamos comprender nuevas situaciones usando inicialmente ideas obtenidas de nuestra experiencia anterior. Las ideas existentes son vinculadas tentativamente a la nueva situación a causa de alguna similitud, de la observación de alguna característica mediante alguno de los sentidos, posiblemente por una palabra que nos recuerde algo similar. La idea vinculada tentativamente es entonces probada, mediante la obtención de más información de un modo más focalizado, para poner a prueba una predicción basada en ella (Harlen, 1992). Todo este proceso, como señalan Schaverien y Cosgrove (1999 y 2000) se desarrolla dentro de un contexto de valor: la prueba interna del significado, su selección, se realiza teniendo en cuenta su valor para la persona. En unas ocasiones, se trata de un valor evolutivo, incluido en los genes; en otras de un valor personal próximo o cultural.

Los razonamientos que para el profesor pueden ser enormes evidencias, pueden dejar al estudiante perfectamente insensible y no constituir para él

ninguna contradicción mantener a la vez su concepción espontánea distinta de la científica y -necesariamente de un modo aparente, superficial y olvidadizo- las del libro o profesor ("supervivencia escolar").

La "evidencia experimental", por supuesto, también es reinterpretada por las personas en términos de sus propias ideas. Por ejemplo, una experiencia conocida por todos, que algún profesor podría utilizar creyendo que muestra concluyentemente que el aire pesa, consiste en bombear aire dentro de un recipiente de plástico y pesarlo antes y después de dicha acción. Una variante de esta experiencia fue propuesta a un grupo de niños de 13 años: se les mostró una balanza de brazos iguales en equilibrio con un recipiente de plástico en cada extremo (Driver, 1986), se quitó el recipiente de un extremo y se bombeó aire dentro de él, pidiéndole a los niños que predijeran qué ocurriría cuando se colocara de nuevo en la balanza. Es interesante ver cómo la situación a la que los estudiantes prestan atención (lo que supone que la valoran) genera unas ideas y expectativas que tratan de reelaborar tras el desequilibrio de la balanza, lo que en algún caso no se consigue y en otro, se consigue aceptándolo como un caso singular. La transcripción de algunos fragmentos del diálogo entre los estudiantes es la siguiente:

Daniel: El aire pesa, pesará más ¿verdad?

María: No.

Daniel: Sí, sí.

Ana: Quedará igual, el aire no pesa nada.

Daniel: Mira, irá hacia abajo el aire es pesado.

Carlos: ¡Mirad, escuchad!, cuando inflamos un globo, se va para abajo ¿verdad?, porque el aire del globo es más pesado y la gravedad le hace bajar.

María: Sí, pero el aire es ligero, de modo que ¿cómo puede bajar?

Ana: Flota, luego se quedará igual.

(Después de hacer la prueba):

Ana: ¡Oh! se va hacia abajo.

María: ¿Pero qué es lo que hace que baje?

Carlos: Mirad, ¿no estamos tratando con el aire? Es más pesado que el aire normal de fuera - la gravedad empuja el globo hacia abajo.

Ana: Pero el aire es ligero, hará que el globo flote.

Daniel: ¿Cómo se fue hacia abajo, entonces?

Ana: No lo sé. Yo pensaba que se quedaría igual.

María: Si fuera ligero iría hacia arriba, ¿verdad?

Carlos: La gravedad lo empuja hacia abajo - ella empuja el aire hacia abajo.

Daniel: Solamente cuando está en el globo.

Como puede verse, hay muchos aspectos de interés en el fragmento anterior, pero llama la atención cómo las ideas espontáneas son "esquemas activos" que se utilizan para dar sentido a las experiencias, y que incluso conducen a aceptar como excepciones válidas aquellas situaciones que no encajan con ellas. Puede pensarse también que si la mayor parte de los estudiantes piensan que el aire "flota a nuestro alrededor" y, por tanto, no tiene peso, ¿qué entenderán como presión atmosférica?, ¿qué entenderán los alumnos mayores cuando se habla de la necesidad de plantar árboles para "fijar" el dióxido de carbono?

Las principales características de la visión constructivista que integra las investigaciones recientes sobre didáctica de las ciencias (Hewson, 1981; Posner et Al., 1982; Gil 1983; Osborne y Wittrock, 1983; Resnick, 1983; Driver, 1986 y 1988; Hodson, 1988; Bencze y Hodson, 1999; Millar, 1989; Pozo, 1999; Zoller, 1999; Stinner, 1995; Gil, Carrascosa et al., 1999;...) con muchas otras contribuciones precedentes (Bachelard, Kelly, Piaget, Vigotski, Ausubel, ..), según Driver, son:

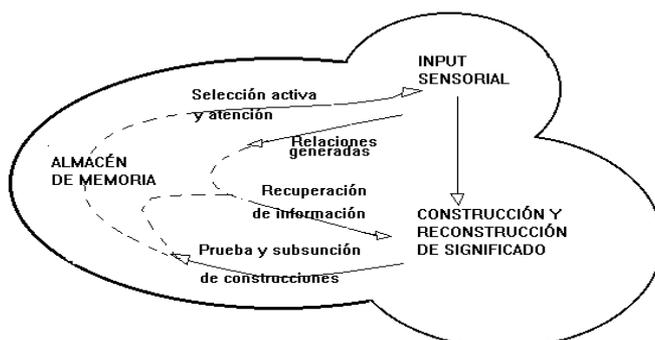
- **Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.**
- **Encontrar sentido supone establecer relaciones: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados que se relacionan de múltiples formas.**
- **Quien aprende construye activamente significados.**
- **Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.**

Una representación de esta construcción psicológica de significados, ya clásica, es la presentada por Osborne y Wittrock, en su trabajo "The Generative Learning Model", que ha sido recientemente actualizada con hipótesis basadas en la Biología por Schaverien y Cosgrove. A continuación realizamos una breve presentación del mismo, a modo de ejemplo de un modelo constructivista desde la psicología cognitiva.

EL MODELO DE APRENDIZAJE GENERATIVO DE OSBORNE Y WITTRICK (1985), COMO EJEMPLO DE UNA CONCEPCIÓN PSICOLÓGICA CONSTRUCTIVISTA DE LA COMPRENSIÓN

El modelo de aprendizaje generativo trata fundamentalmente de la influencia de las ideas existentes sobre qué "input" sensorial se selecciona y se le presta atención, las relaciones que se generan entre los estímulos y aspectos del almacén de memoria, la construcción de significado a partir del "input" sensorial y de la información recuperada de la memoria a largo plazo, y finalmente la evaluación y posible subsunción de los significados construidos. El siguiente dibujo, ilustra las características del modelo:

LA CONSTRUCCIÓN ACTIVA DE SIGNIFICADO [Osborne y Wittrock, 1985]



El "funcionamiento" del mismo, puede comprenderse a partir de sus suposiciones claves y de la ejemplificación que les acompaña:

1. Las ideas existentes en el aprendiz influyen el uso que hace de los sentidos y de este modo puede decirse al cerebro que seleccione

activamente unos "inputs" sensoriales y que ignore otros. Por ejemplo, se le puede decir a un alumno que busque animales en un bosque. El significado que tenga de la palabra animal influirá en dónde mira el alumno. Si para él, los pájaros o las arañas no son animales,... Las ideas guían el sistema sensorial.

2. Las ideas existentes influirán en qué "inputs" sensoriales reciben atención y cuáles se ignoran. Por ej.: mucho de lo que oímos es considerado irrelevante para nuestros intereses inmediatos o focos de atención. Dichos sonidos son oídos pero ignorados; sean los sonidos de los pájaros fuera de la ventana o los de una clase adyacente. El valor que tenga para nosotros la situación influye en sobre qué centramos la atención.
3. El "input" seleccionado por el aprendiz, no tiene, por sí mismo, significado inherente. Por ej.: el profesor puede decir: "Hay una fuerza sobre una pelota que cae por una pendiente"... "que será mayor cuanto más inclinada sea ésta". Para el profesor esta proposición tiene cierto sentido pero este sentido no puede ser transportado directamente a los estudiantes; sólo los sonidos son transportados a los cerebros de los estudiantes.
4. Quien aprende genera vínculos entre el "input" que ha seleccionado y prestado atención y partes del almacén de memoria. Por ej.: un estudiante no familiarizado con la física es improbable que genere vínculos con una pendiente uniforme, o con la idea de la gravedad actuando sobre la pelota cuando oye "Hay una fuerza sobre una pelota que cae por una pendiente". Él podría relacionar el "input" sensorial con una experiencia específica de una pelota que cae por un montículo o una cuesta. Desafortunadamente, dichas relaciones pueden ser bastante inapropiadas si se espera que el estudiante construya un significado similar al del profesor.
5. Quien aprende usa los vínculos generados y el "input" sensorial para construir significado activamente. Por ej.: del "input" sensorial oído del profesor y de la experiencia específica en la memoria con la cual se han generado vínculos, puede construirse un significado para: "Hay una fuerza

sobre una pelota que cae por una colina". Nuestro aprendiz no físico puede pensar en una fuerza como si fuera el traqueteo de la pelota contra el suelo o una fuerza en la pelota debida a su velocidad. Ninguna construcción es similar al significado del profesor.

6. El aprendiz puede someter a prueba el significado construido con otros aspectos del almacén de memoria y con significados construidos como resultado de otro "input" sensorial. Probar los significados construidos implica generar vínculos con otros aspectos del almacén de memoria. ¿Encaja bien el significado recién construido con otras ideas relacionadas que pueden ser construidas a partir del almacén de memoria? ¿Es compatible con construcciones anteriores? A modo de ejemplo, supongamos que la siguiente frase del profesor es "cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la fuerza". Nuestro estudiante podría construir un significado de ella que encaja bien con su construcción anterior. Al ser la pendiente mayor, el traqueteo de la pelota será mayor y/o su velocidad será ciertamente mayor. No obstante, si el siguiente dato sensorial fue un estímulo visual desde la pizarra " $F = m \cdot g \cdot \sin \alpha$ " nuestro estudiante no-físico podría (¿quizás?) sospechar que este o sus construcciones anteriores eran diferentes en alguna medida de las ideas del profesor. Alternativamente, y más probablemente, puede sentirse simplemente incapaz de construir algún significado del planteamiento de la pizarra y permanece relativamente feliz con sus primeras construcciones.
7. El que aprende puede subsumir construcciones en el almacén de memoria. Si el significado construido tiene sentido en términos de su evaluación con otros aspectos de la memoria entonces puede ser incorporado en la memoria, influenciando y posiblemente alterando el propio almacén-memoria en el proceso. Cuanto mayor sea el número de relaciones generadas con otros aspectos de la memoria, y cuanto mayor sea el número de estos vínculos que reafirman que se ha fabricado un significado útil, más probable será que la idea se pueda recordar y que tenga sentido para el que aprende.

La necesidad de generar relaciones y de construir activamente, probar y subsumir significados requiere que los individuos acepten una gran responsabilidad en su propio aprendizaje. Todas las actividades involucradas en el aprendizaje significativo requieren esfuerzo intelectual por parte del que aprende.

No obstante, la comprensión de este modelo requiere una hipótesis sobre cómo se organiza la estructura cognoscitiva y cómo se produce lo que llama "subsunción". Uno de los modelos psicológicos más elaborados sobre la estructura cognoscitiva de las personas y las modificaciones que se producen en la misma como fruto del aprendizaje es el de Ausubel y Novak. Para estos investigadores, la estructura cognitiva puede ser considerada como una estructura de conceptos inclusores y de relaciones entre los mismos. Esta estructura se modifica cuando se produce aprendizaje significativo (en oposición a repetitivo), mediante dos procesos básicos relacionados, la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. (González y Novak, 1993, págs. 42-44; Novak 2002).

Algunos autores (Hendry y King, 1994), basándose en los avances de la neurociencia han mostrado, sin embargo, las deficiencias lógicas de los modelos de transmisión y procesado de la información (como el de Osborne y Wittrock), al señalar que no explican cómo ocurre el proceso de construcción ni la "paradoja del vínculo", es decir, cómo se generan relaciones entre la información que entra y el conocimiento correcto o considerado relevante; cómo se selecciona un significado en vez de otros. Por otro lado, White criticaba el carácter estático de los modelos que incluyen el "almacenado" de información, por no ser coherentes con el conocimiento sobre el cerebro. No obstante, recientemente, como hemos señalado, Schaverien y Cosgrove (1999 y 2000) han reelaborado el modelo de aprendizaje generativo, que pretende representar el proceso de elaboración de significado por los humanos, dándole un carácter dinámico. Estos autores, basándose en los conocimientos actuales sobre neurociencia, aportan una fundamentación biológica basada en la teoría neodarwinista de la evolución, (que ha tenido éxito al explicar la evolución de algunas redes neuronales del cerebro y el funcionamiento del sistema inmunológico) en defensa de que el conocimiento humano se produce mediante un mecanismo de generación-prueba-regeneración que se realiza en un trasfondo de "valor o relevancia" (para la especie, el individuo

o la cultura) que hace posible que, entre *cuasi* infinitas posibilidades, se seleccione alguna (idea o prueba). Los nuevos medios técnicos (PET, resonancia magnética funcional, EEG) (Hansen y Monk, 2002; Mikropoulos, 2003) están permitiendo obtener evidencias –antes inalcanzables- de la actividad neuronal y vascular cuando los animales realizan distintas tareas de aprendizaje en el laboratorio, cuando personas sordas aprenden un lenguaje de signos o cuando personas que han sufrido accidentes cerebrales consiguen –mediante instrucción/rehabilitación- que un área neuronal distinta de la natural en los humanos “se haga responsable” de realizar la función del área dañada. Cada vez se dispone de más evidencias sobre los mecanismos neuronales involucrados en el aprendizaje (la creación de nuevas sinapsis, de nuevos circuitos, es ampliamente influida por la experiencia y la calidad de la misma, y se desarrolla a lo largo de toda la vida: el cerebro es un órgano dinámico, moldeado en gran medida por la experiencia y lo que el ser vivo hace).

Pese a estos avances, como señalan Bransford et al., (2000) en el informe “How People Learn” elaborado por el National Research Council de Estados Unidos, en muchas ocasiones se publican “afirmaciones” aludiendo a la neurociencia de las que todavía no se dispone de evidencia suficiente. En nuestra opinión, aún falta bastante para que se puedan deducir –únicamente a partir de la neurociencia- implicaciones para la instrucción de personas en las aulas. Por ahora, lo que debemos vigilar los investigadores en didáctica de las ciencias es que no existen contradicciones entre los hallazgos en los distintos niveles de investigación, y resaltar la coincidencia. A modo de ejemplo de estas coincidencias, se ha encontrado que el peso y grosor del córtex cerebral en ratas que han realizado las mismas actividades de aprendizaje, es mayor cuando estas se realizan dentro de un grupo social que cuando las realizan individualmente, o que el aprendizaje produce más sinapsis que la mera actividad neuronal –que no implica aprendizaje- (Bransford et Al., 2000, pp. 118-120). Por su parte, Schaverien y Cosgrove (2000), por ejemplo, citan la descripción del ambiente de aprendizaje hecha por Gil y Carrascosa (1994) como ejemplificadora de la implicaciones para la enseñanza del modelo generativo, de fundamentos biológicos.

1.4. Algunas propuestas sobre cómo organizar la enseñanza dentro de la orientación constructivista.

Pese a lo que podría pensarse por el apartado anterior, el modelo de enseñanza citado por Schaverien y Cosgrove, en el cual desarrollamos este trabajo, no ha sido fruto de una aplicación de un modelo psicológico constructivista del aprendizaje, ni, menos aún, de la neurobiología a la enseñanza. Por el contrario, buena parte de las estrategias de enseñanza de las ciencias tienen su origen genuino en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias, que –por supuesto apoyándose en fuentes variadas, como en analogías con la historia y la filosofía de la ciencia y en el conocimiento práctico de las dificultades para aprender ciencias- ha ido elaborando posibles soluciones a los problemas surgidos en el aula de ciencias, constituyéndose así en un campo específico de conocimiento (Gil, Carrascosa y Martínez Terrades, 2000). Las hipótesis que subyacen a los modelos de enseñanza que gozan de una mayor aceptación por la comunidad de investigadores, tienen su génesis en una aspiración intuitiva que, desde principio del siglo pasado, pretendía acercar la actividad de enseñanza/aprendizaje en el aula de ciencias a la actividad científica como la mejor forma de lograr los objetivos de la formación científica de los estudiantes (Gil y Carrascosa, 1994). En este sentido, cuando hablamos de constructivismo en la Didáctica de las Ciencias (Gil, Carrascosa et al., 1999; Gil, Guisasola et al., 2002; Valdés, Gil, Vilches y Martínez Torregrosa, 2004), no nos referimos al modelo psicológico-biológico constructivista que acabamos de exponer (aunque exista convergencia y se apoyen mutuamente), sino a una forma de enseñar y aprender, organizada como un proceso social en el que los alumnos, con la guía y apoyo de un profesor-experto, van construyendo, reelaborando, los conocimientos científicos (frente a la habitual transmisión de dichos conocimientos en su estado final, por el profesor, para su fijación, mediante ejercicios, por los estudiantes) en un ambiente en el que existen oportunidades reiteradas y sistemáticas para pensar, hacer, debatir y argumentar.

No obstante, no todos los modelos de enseñanza de orientación constructivista tienen las mismas características. A continuación trataremos algunos de ellos, con la intención de justificar por qué organizar la enseñanza y el aprendizaje de las

ciencias fisicoquímicas como un proceso de investigación dirigida en torno a problemas.

1.4.1. Modelos⁴ de enseñanza/aprendizaje como cambio conceptual

Como señalan Wandersee, Mintzes y Novak (1994) en su documentado capítulo en el primer Handbook for Science Education, particular influencia en el replanteamiento de las ciencias ha ejercido la propuesta de considerar el aprendizaje como un cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Gerzog, 1982), fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos. Según estos autores, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional semejante a la investigación científica y sus resultados (el cambio conceptual) pueden contemplarse como el equivalente -siguiendo la terminología de Kuhn (1971) a un cambio de paradigma. A partir de las ideas de Toulmin (1977) sobre filosofía de la ciencia, Posner et Al. identifican cuatro condiciones para que tenga lugar el cambio conceptual:

- **Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.**
- **Ha de existir una concepción mínimamente inteligible, que**
- **debe llegar a ser plausible, aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno, y**
- **ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación⁵.**

⁴ Utilizamos el término "modelo" en el sentido expresado por Jiménez Aleixandre (2000, p. 168) como conjunto de hipótesis sobre la enseñanza/aprendizaje, articulado, con coherencia, capacidad de predicción,... que puede utilizarse para tomar decisiones para configurar un currículo, diseñar materiales, y, en general, orientar la enseñanza (forma de trabajo, evaluación, papel del profesor, etc.)

⁵ Para una definición estricta de los términos inteligible, plausible y fructífera, ver Hewson (1992) Según comunicación personal al director de este trabajo, en sus clases hay carteles en los que se incita a los alumnos a someter las viejas y las nuevas ideas a dichos criterios, y cuando se introduce un concepto o modelo se somete explícitamente a dichos criterios.

La concreción más popular de estrategias de cambio conceptual, dentro de la orientación constructivista, es probablemente la secuencia de instrucción (véase **Cuadro 1.1**) del grupo que dirigió Rosalind Driver en la Universidad de Leeds, que elaboraron el conocido proyecto CLIS (Children Learning in Science) basado en dicha estrategia (Driver y Oldham, 1986). Según Wandersee et al., (1994) todos los profesores *deberían* conocer y “haber vivido” dicha secuencia de instrucción en su proceso de formación.

Cuadro 1.1. Fases de la secuencia de instrucción del proyecto CLIS (1987)

1. **Orientación.** Donde los alumnos tienen oportunidad de desarrollar la intencionalidad y su motivación sobre el tema que se va a tratar.
2. **Explicitación,** en la cual los alumnos clarifican sus ideas sobre el tema. Esto puede alcanzarse mediante actividades variadas, como discusiones en grupo, diseño de carteles o escribiendo.
3. **Reestructuración** de ideas, es la fase fundamental de la secuencia. Consiste en un número de pasos, que incluyen:
 4. **Clarificación e intercambio** de ideas, durante la cual el lenguaje y significados de los alumnos puede ser precisado por contraste con otros, posiblemente conflictivos, puntos de vista sostenidos por otros estudiantes o aportados por el profesor.
 5. **Construcción de nuevas ideas,** a la luz de las discusiones y demostraciones anteriores. Los estudiantes ven aquí que hay varias maneras de interpretar los fenómenos o la evidencia.
6. **Evaluación de las nuevas ideas,** bien experimentalmente o pensando sus implicaciones. Los estudiantes deben tratar de hallar los mejores modos de poner a prueba las ideas alternativas. En esta fase, los estudiantes pueden sentirse insatisfechos con sus propias concepciones.
7. **Aplicación** de ideas, donde se les da la oportunidad de usar las ideas que han desarrollado ante una variedad de situaciones, tanto familiares como novedosas.
8. **Revisión,** es la etapa final en la que se invita a los estudiantes a reflexionar sobre cómo han cambiado sus ideas, mediante comparaciones entre sus pensamientos al comienzo de la secuencia y su pensamiento al final.

De un modo quizás excesivamente esquemático: motivación/ explicitación/ conflicto/ introducción de nuevas ideas/ aplicación. Esta estructura básica está presente, con variaciones no muy sustanciales, en muchas de las secuencias de instrucción dentro de la orientación constructivista del aprendizaje, y supusieron, sin duda, una innovación importante al concretar propuestas alternativas a la enseñanza por transmisión. Y tiene la gran virtud, según nuestra experiencia en

formación de profesores, de que muchos de ellos la ven accesible, y han iniciado sus primeras innovaciones tratando de llevarla a cabo en sus aulas.

¿Hasta qué punto dichas orientaciones son realmente efectivas? Algunos resultados experimentales (Hewson y Thorley, 1989) sugieren que las estrategias de enseñanza basadas en el cambio conceptual producen la adquisición de los conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de transmisión/recepción.

Pese a ello, numerosos autores han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta se orienta explícitamente a producir el cambio conceptual (Fredette y Lochhead, 1981; Engel y Driver, 1986; Shuell, 1987; White y Gunstone, 1989; Duschl y Gitomer, 1991;..). Se ha señalado incluso que, en ocasiones, el cambio conceptual conseguido es más aparente que real, como lo muestra el hecho de que al poco tiempo vuelvan a reaparecer las concepciones que se creían superadas o son sustituidas por otras igualmente incorrectas (Shymanky et al., 1993; Arnold y Millar, 1996). Los resultados obtenidos con las estrategias de cambio conceptual se muestran, por tanto, insuficientes (Oliva, 1999)

1.4.2. Críticas a las estrategias de cambio conceptual

Las posibles limitaciones de las estrategias de "cambio conceptual por conflicto" no se ciñen a que, en algunos conceptos, el aprendizaje producido sea más aparente que real, veamos algunas más:

1. Su uso reiterado puede generar rechazo o inhibiciones lógicas (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez Torregrosa, 1991) o la caída en el relativismo

Los profesores que hayan utilizado este tipo de estrategias habrán podido advertir la "desconfianza" que produce progresivamente en los alumnos, quienes después de comprobar en dos o tres ocasiones cómo se solicitan sus creencias al principio de los temas para organizar una campaña contra ellas, oponen una lógica resistencia a seguir en un "juego donde siempre pierden". En las estrategias que pretenden cambios conceptuales aislados, las situaciones de conflicto cognitivo

suelen convertirse en una confrontación entre las ideas propias (incorrectas) y los conocimientos científicos (externos) (Gil, 1993), que fomentan una aceptación de los mismos basada más en la confianza que merece quien los **presenta** (el profesor) que en criterios o razones que puedan fundamentar un aprendizaje sólido. La inconsistencia de esta situación con la concepción constructivista del aprendizaje es señalada por Solomon (1991) cuando indica que "tras impulsar la expresión de un conjunto de opiniones particulares, el profesor no puede simplemente rechazar las que no se ajustan a la teoría vigente. De este modo dejaría de ser posible un diálogo abierto". Frente a esta aceptación acrítica, el otro peligro es caer en el relativismo, en el cual cualquier conclusión a la que lleguen los estudiantes es considerada aceptable (Hodson, 1992). Si bien sabemos que no podemos enseñar un cuerpo de conocimientos por transmisión directa, el objetivo de la enseñanza de las ciencias no es desarrollar teorías personales sobre los fenómenos sino conseguir que los alumnos lleguen a compartir (a algún nivel determinado con suficiente poder explicativo) las teorías científicas vigentes (Millar, 1989).

- 2. Se basa en investigaciones que generalmente se han reducido a una búsqueda de las ideas que tienen los alumnos en un campo determinado, sin prestar atención a las posibles conexiones entre ellas o a cómo están organizadas (Pozo et Al., 1991).**

Se trata de un aspecto importante: el conocimiento de las conexiones entre las ideas, y entre estas y el contexto, sería muy útil para establecer secuencias de enseñanza que pudieran producir un aprendizaje consolidado. Desconocer estas relaciones, puede hacer creer que una idea espontánea ha sido superada tras una estrategia de cambio conceptual "por conflicto", cuando en realidad sólo ha sido superficialmente "debilitada" y puede aparecer como al principio en otros contextos. Muchas ideas importantes forman parte de redes de conocimientos y el cambio conceptual "puntual" es muy poco probable que suceda.

- 3. No representa una alternativa global a la enseñanza mediante transmisión de conocimientos ya hechos.**

¿Es utilizable más allá del inicio de los conceptos fundamentales? ¿Cómo se integran (especialmente en la enseñanza de la Física y la Química) la resolución de problemas de lápiz y papel, los trabajos prácticos, el carácter cuantitativo de los conocimientos físico/químicos, la evaluación? ¿Cómo secuenciar los temas en un curso o en una etapa de un modo no arbitrario? ¿Cómo enseñar en dominios en los que no existen ideas espontáneas o, si existen, puedan ser fácilmente superadas?

Se trata de un aspecto fundamental, ya que, desde el punto de vista de influencia práctica, la cuestión, actualmente, no es la existencia de deficiencias en la enseñanza por transmisión directa -cuya identificación y constatación es uno de los hallazgos de la investigación educativa ya consolidados- sino si se tienen modelos de enseñanza que puedan competir con ella globalmente: aunque los profesores sean conscientes de ciertas deficiencias, es poco probable que abandonen un modelo que representa un "sistema" por algo que no es tal.

Admitiendo que la atención a las ideas espontáneas -y por tanto su conocimiento por parte del profesor- es un logro irrefutable de la investigación didáctica, las limitaciones anteriores indican la necesidad de seguir profundizando teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de ideas espontáneas para fundamentar estrategias de instrucción.

Así, a finales de la década de los 80 -aunque algunas voces aisladas se habían manifestado antes (Gil, 1983; Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986)- se comienza a comprender que la atención casi exclusiva hacia las ideas espontáneas, con olvido de otros aspectos igualmente relevantes para el aprendizaje de las ciencias, supone un grave reduccionismo (Duschl y Gitomer, 1991) que explicaría las limitaciones de las estrategias de cambio conceptual (Shuell, 1987; White y Gunstone 1989). Se empezó así a tener en cuenta que la construcción de conocimientos científicos tiene exigencias epistemológicas a las que es preciso prestar atención explícita (Burbules y Linn, 1991; Cleminston, 1990; Fillon, 1991; Cobb, Wood, y Yackel, 1991; Duschl y Gitomer, 1991; Gruender, y Tobin, 1991 ; Duschl, 1994 y 2000,...).

1.4.3. Necesidad de que se produzcan simultáneamente el cambio conceptual, epistemológico y la implicación actitudinal

Las secuencias de enseñanza dirigidas al cambio conceptual contienen, no obstante, aspectos que merecen ser resaltados: se busca llevar a contradicciones, a conflictos a los alumnos. Se busca convencer, conseguir que los alumnos vean más atractivas las nuevas ideas que las suyas iniciales. Efectivamente, el problema de la enseñanza de las ciencias no es cómo transmitir las concepciones científicas, sino cómo hacer que las personas vean más fructíferas, atractivas y funcionales las ideas científicas que las espontáneas. Cómo conseguir, en definitiva, que las ideas científicas pasen a formar parte de la manera de pensar de las personas (es decir que sean funcionales).

Avanzar en este propósito, requiere reflexionar sobre posibles causas de la existencia, persistencia y utilidad de las ideas espontáneas y sobre aquello que las separa de las científicas. Es necesario preguntarse por qué dichas ideas son tan resistentes al cambio, ¿por qué las personas las ven más atractivas y útiles que las ideas científicas?, ¿qué criterios utilizamos los humanos para producir y aceptar como "válidas" las ideas que elaboramos en contextos habituales, no formales?

En este sentido, es necesario tener en cuenta que, tanto para las personas en general como para los científicos en particular, el modo en que se desarrolla la comprensión -el modo en que se producen y aceptan conocimientos- depende tanto de las ideas ya existentes como de los procesos y criterios mediante los cuales dichas ideas son probadas y aceptadas en nuevas situaciones, y que los que se utilizan en el contexto cotidiano son muy distintos de los que se ponen en juego en el ámbito científico (Martínez Torregrosa, Verdú et Al, 1991, pp. 54 a 58; Leach y Scott, 2000, p. 43; Furió et al., 2000, p. 424-427, Lemke, 2001, p. 311). El conocimiento cotidiano está condicionado por unas "reglas", una "epistemología espontánea", que es efectiva para el desarrollo social de las personas, y que de un modo inconsciente -lo que la hace arraigada y difícil de modificar- es ampliamente compartida y aceptada. Veamos algunas de estas características.

1.4.3.a) Algunas características de la "epistemología espontánea"

Una de las características más sobresalientes de este razonamiento espontáneo es que está "dirigido por la percepción", es decir, se basa en los rasgos más evidentes, más llamativos o claramente observables, de las situaciones. Las múltiples y reiteradas experiencias sensoriales que tienen las personas en su vida diaria (empujar un objeto, lanzar una piedra, dar cuerda a un juguete, ver que los combustibles se gastan,..) hacen que lleguen a integrarse en un sistema de expectativas útiles para la acción y para la predicción de hechos futuros en el mismo contexto. Debe señalarse, además, la tendencia de las personas al verificacionismo, es decir, a prestar una atención preferente a aquello que apoya las ideas propias iniciales y a ignorar otros aspectos que podrían contradecirlas (por ejemplo: cuando se les pregunta por qué creen que la velocidad de caída depende del peso piensan en una piedra y un papel; para justificar por qué la Luna no cae se fijan en que la distancia está elevada al cuadrado en la LGU (y no en la masa);..), lo que refuerza continuamente la utilidad de las ideas espontáneas, que suelen ser generalizadas y utilizadas automáticamente en contextos variados sin una mínima reflexión sobre la validez de las mismas (Hashweh, 1986). En consecuencia se piensa en términos de certeza, no se pone en cuestión lo obvio, no se piensa en términos de tentativas ni se consideran habitualmente alternativas a lo aparente.

La "validez" no es medida por las personas en términos de criterios científicos: pesan mucho más factores socio/afectivos (Solomon, 1987). Pensemos que a lo largo de la vida, dedicamos gran parte del tiempo a dialogar, a interactuar con otros. En estas interacciones lo que se pretende es que nuestras ideas sean rápidamente entendidas/ aceptadas. Así, es más importante, sin duda, que una idea sea compartida que otras características como que sea lógica, universal o coherente. Una comunicación social efectiva se ve favorecida por un lenguaje (Llorens, 1988_b; Llorens et al., 1989; Solomon, 1987) cuyos términos sean ambiguos y poco precisos: podemos decir que una persona ha salido "muy rápida", "con mucha fuerza", "con mucha energía", "con mucho empuje",... y ser entendidos perfectamente.

Criterios basados en "la naturalidad", "el antropocentrismo y vitalismo", "la proximidad afectiva al fenómeno", "**la validez local e inmediata**", son habitualmente utilizados, y compartidos, en la producción y aceptación del conocimiento cotidiano, sin importar que desde el punto de vista científico existan inconsistencias graves (como afirman Casadellà y Sanmartí, 1987): los alumnos pueden afirmar sin problemas que "los gases no pesan, menos el butano", que en un ecosistema hay animales "buenos y malos", o considerar que el movimiento de caída de un cuerpo es más "sencillo y natural" que el de un ciclista moviéndose a velocidad constante por una carretera horizontal en contra de un intenso viento.

Trabajos de psicología cognitiva, como el de Pozo et al. (1991) también confirman, aunque con otra terminología, las características anteriores de la epistemología espontánea.

No se trata aquí, no obstante, de hacer un desarrollo exhaustivo de las características de la epistemología espontánea, sino de advertir que las personas tienen "buenas razones" para pensar como piensan y que dichos criterios espontáneos de aceptación y producción de conocimientos están muy alejados de los científicos. Como señala Lemke (2001, pp. 311), las culturas de la vida cotidiana también buscan conocimiento y explicación, pero con *propósitos* bastante distintos de los científicos, sus criterios de validez son, lógicamente, también distintos.

Como se ve, la superación de las ideas espontáneas, conseguir que los alumnos vean más atractivas y fructíferas las ideas científicas que las cotidianas, requiere el desarrollo simultáneo de unos criterios distintos de los espontáneos, un verdadero cambio epistemológico. Pero ¿cambio epistemológico hacia dónde?, ¿cambiar los criterios espontáneos por qué otros?

1.4.3.b) Hipótesis de los modelos de enseñanza/ aprendizaje como investigación orientada

Hemos introducido la idea básica de que la existencia de una epistemología espontánea, de formas de razonamiento y de producción de conocimientos en el

contexto cotidiano, está ligada a la persistencia de las concepciones espontáneas. Y que la superación de estas concepciones, es decir, la apropiación de las ideas científicas, requiere un cambio epistemológico de manera simultánea.

Parece lógico pensar que el aprendizaje significativo de los conocimientos científicos sólo será posible si los estudiantes "hacen suyas" las formas en que se producen y aceptan los conocimientos científicos, es decir, si se produce un cambio de la metodología o epistemología del "sentido común" a la epistemología científica.

Esta es la hipótesis básica de la propuesta de Gil (Gil, 1983; Gil y Carrascosa, 1985; Gil, Carrascosa, Furió y Martínez Torregrosa, 1991) -en la que hemos desarrollado nuestra investigación y contribuido a consolidar-, quien planteaba que del mismo modo que la superación del paradigma aristotélico/ escolástico sólo fue posible -después de siglos de vigencia- cuando se introdujo una nueva forma de pensar⁶, de producir conocimientos, basada en imaginar nuevas posibilidades, en ir más allá de lo obvio, en pensar en términos de hipótesis -y no de certezas- que debían ser sometidas a contrastaciones rigurosas y controladas, es razonable pensar que ocurrirá lo mismo con las estructuras conceptuales de los alumnos. Dicho de otro modo, las semejanzas entre las ideas espontáneas más arraigadas y concepciones históricas que fueron desplazadas por los conocimientos hoy aceptados por la comunidad científica, -una de las conclusiones que recoge el trabajo de Wandersee, Mintzes y Novak (1994)- no puede ser accidental, sino resultado de una forma también similar de abordar los problemas. Cabe, pues, pensar que los cambios conceptuales de los alumnos exijan igualmente un profundo cambio metodológico o, si se prefiere, epistemológico. Si admitimos que "comprender es poder justificar lo que se piensa", la comprensión científica implica justificación científica. Las líneas de investigación actuales que ponen énfasis en desarrollar la capacidad de razonamiento y argumentación científicos de los

⁶ El método hipotético-deductivo supuso una forma de trabajo revolucionaria en su tiempo, y fue inventado por Galileo y sus colaboradores, como señala Mason (1986), ".hasta entonces los nuevos fenómenos se habían hallado por azar o accidente y las hipótesis rivales, como la mecánica aristotélica y la del ímpetus, podían convivir durante muchas generaciones debido a la falta de criterios para decidir entre ellas que no fueran exclusivamente lógicos".

alumnos, también comparten esencialmente esta hipótesis (Sardà y Sanmartí, 2000; Kuhn, 1993; Jiménez Aleixandre, 1998, 2001 y 2003; Newton, Driver y Osborne, 1999; Caballer y Serra 2001).

Históricamente, ese cambio a la vez conceptual y metodológico no fue en absoluto fácil, y es lógico pensar que ocurrirá lo mismo con los estudiantes: solamente si son puestos, de modo reiterado, en situación de poner en práctica formas de razonamiento, de producción de conocimientos, típicas de la nueva metodología (es decir, en situación de enfrentarse y plantear problemas, construir hipótesis, de diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etc.) será posible que superen la metodología del sentido común, y, por tanto, que perciban las concepciones científicas como más útiles y fructíferas que las cotidianas. En este mismo sentido, Duschl y Gitomer (1991), profundizando en las implicaciones de la epistemología contemporánea, afirman: "si tenemos que producir una reestructuración radical de conceptos, lo que constituye el correlato personal de la idea kuhniana de revolución científica, parece que deberíamos enseñar también los conocimientos procedimentales implicados". Duschl y Gitomer critican así, siguiendo a Laudan (1984), una visión jerárquica del cambio conceptual, que asume que los cambios conceptuales producirán cambios simultáneos de procedimientos y actitudes. Y atribuyen a esta incorrecta apreciación, la responsabilidad de la insuficiente atención prestada a los aspectos metodológicos y la inefectividad parcial de las estrategias de cambio conceptual (Duschl y Gitomer, 1991). El desarrollo de la capacidad de argumentación en ciencias está relacionado, entre otras cosas, con un ambiente de aprendizaje caracterizado por una perspectiva de aprender y enseñar ciencias por investigación y una condición para promover la argumentación es que el diseño de unidades didácticas y actividades esté centrado alrededor de la resolución de problemas (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000, p. 759; Jiménez Aleixandre, 1998, p. 210).

Desde este punto de vista, la familiarización con la metodología científica, un objetivo siempre pretendido en todos los currícula y por los profesores de Ciencias, o la comprensión de la naturaleza de la Ciencia, no aparecen de manera autónoma, separada del objetivo de aprender conocimientos científicos o de

generar actitudes positivas hacia las Ciencias y su aprendizaje. Como afirma Hodson (1992), la reciente investigación didáctica está mostrando que “los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual y aprenden más acerca de la naturaleza de la ciencia cuando participan en investigaciones científicas, con tal de que haya suficientes oportunidades y apoyo para la reflexión”; y en el número monográfico de la revista *International Journal of Science Education*:

“... los estudiantes pueden aprender ciencia y pueden aprender más sobre la ciencia llevando a cabo investigaciones científicas bien diseñadas, bajo la mirada vigilante (recogiendo, debatiendo y apoyando a la reflexión sobre el progreso realizado) de un profesional experto” (Hodson, 1996, p. 757).

Como señala Osborne (1996), estas perspectivas tienen un aspecto común: que el conocimiento y la comprensión de la epistemología científica es un objetivo esencial de cualquier educación científica, y que cualquier enfoque que falle en considerar cómo los científicos producen conocimientos “corre el riesgo de producir estudiantes que no reconocen las concepciones científicas como racionales”.

Es necesario resaltar que no se trata de “aprender el contenido a través del método”, sino, como hemos tratado de justificar, de afirmar que para que los alumnos vean más atractivas y fructíferas las concepciones científicas que las espontáneas han de tener oportunidades, reiteradas y duraderas, de poner en práctica procedimientos y criterios de prueba y aceptación característicos del trabajo científico, de introducirse –en la medida de lo posible en la enseñanza- en la “cultura científica”. En esta orientación, la construcción de conocimientos no se plantea como un cuestionamiento de las ideas de los alumnos, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez Torregrosa, 1991). No se parte de las ideas de los alumnos, aunque se conocen (estadísticamente). Dichas ideas –las de los alumnos y las del profesor- aparecerán en el momento adecuado, funcionalmente, al intentar avanzar en la solución del problema planteado. En este proceso, surgirán criterios y razones no arbitrarias para decidir si las ideas aportadas se abandonan o se aceptan como un avance (para ello, por supuesto, es necesario evitar que la enseñanza se desarrolle de una manera protocolaria (procedural displays), donde los estudiantes y profesores se dedican a “hacer la lección” o “hacer escuela”, a actuar como tradicionalmente se espera que lo hagan (Jiménez Aleixandre,

Bugallo y Duschl, 2000, p. 758-759). El "conflicto cognitivo", cuando se produce, tiene sentido dentro de un contexto en el que se pretende avanzar, con criterios explícitos e inspirados en el trabajo científico, en la solución de un problema. Una enseñanza por investigación, por resolución de problemas, debe integrar el desarrollo de contenidos específicos y de procesos metodológicos de manera que se puedan construir concepciones científicas cada vez más racionales y coherentes.

Ya hemos advertido, además, que dicho cambio no fue fácil históricamente y no puede serlo para los alumnos: investigar requiere una gran implicación personal que afecta a valores, compromisos ontológicos y epistemológicos, etc., cabe esperar, pues, que sólo si se presta una atención explícita a generar y cultivar la implicación afectiva de los alumnos será posible el cambio conceptual y epistemológico. Todos los profesores de ciencias con experiencia en investigación, sabemos la implicación personal que exige la inmersión en la actividad investigadora, lo que la convierte en una característica más del modo en que se producen conocimientos científicos. Reiteramos, pues, que no basta afirmar que la evolución conceptual y epistemológica debe desarrollarse conjuntamente en la enseñanza, **es imprescindible tener en cuenta la necesidad de prestar atención prioritaria a generar y sostener en los alumnos la implicación actitudinal necesaria para participar en esa tarea tan exigente.** Desde ahora, cuando nos refiramos al "modelo de enseñanza por investigación orientada" será sinónimo de un modelo de instrucción que concibe el aprendizaje de conocimientos científicos como un proceso de evolución y cambio conceptual y epistemológico, y la enseñanza como el plan concreto desarrollado en el aula, con los alumnos, para favorecer dicho cambio y la implicación axiológica necesaria para que sea posible. Una implicación que se ve muy influenciada por el ambiente de aprendizaje en el aula, que tratamos a continuación.

1.4.3.c). El papel del profesor y el clima del aula en las estrategias de cambio conceptual y metodológico

Organizar el aprendizaje de los alumnos como una construcción de conocimientos a partir del tratamiento y desarrollo de situaciones problemáticas,

supone colocarles en una situación similar a la que experimentan los científicos en los inicios de su formación como investigadores. Es decir, en una situación de investigación dirigida en dominios perfectamente conocidos por el "director de investigaciones" (profesor). Una situación en la que se abordan problemas conocidos por quienes dirigen el trabajo, en la que se dispone del apoyo y la orientación de expertos en ese campo y de la posibilidad de cotejar y discutir los avances y obstáculos con el resto del equipo de investigación. Es este clima de "equipos de investigadores noveles" dirigidos y apoyados por un "director de investigación/experto" el adecuado para una enseñanza por resolución de problemas que sea coherente con la concepción constructivista del aprendizaje expuesta anteriormente y con los objetivos simultáneos de aprender ciencias, apropiarse de criterios científicos y reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia.

El profesor, por tanto, no debe pensar en términos de "qué contenidos ya acabados ha de transmitir a los alumnos", sino en términos de "qué situaciones problemáticas, qué actividades se ha de proponer a los alumnos para que, con la dirección adecuada, puedan (re)construir/aprender los conocimientos científicos". La concreción de este modo de pensar debe producir situaciones problemáticas abiertas que faciliten la estructuración deseada del curso, la elaboración de temas o "unidades didácticas" con la intención de avanzar en el problema inicial, que en último término se traducen en, lo que hemos llamado, programas-guía de actividades (Gil y Martínez Torregrosa, 1987_b) que han de ser abordadas y resueltas por los alumnos organizados en pequeños grupos de trabajo. No es posible, por razones de espacio, insistir aquí en los argumentos bien documentados, en favor del trabajo en pequeños grupos (4 personas) para favorecer el nivel de participación y la creatividad (facilita la discusión e intercambio de ideas, la argumentación de posturas y opiniones, etc.) necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas (Ausubel, 1978; Solomon, 1987; Linn, 1987; Driver, 1992; Rodríguez y Escudero, 2000; Sanmartí, 2002), como indudablemente son las concebidas para posibilitar la construcción de conocimientos. A título de ejemplo, merece la pena reproducir textualmente las conclusiones de la investigación de Kempa y Ayob (1995) sobre el trabajo en grupo:

“Este artículo se había planteado la cuestión de la efectividad de “trabajar en grupo” para promover el aprendizaje en los individuos involucrados en dicho grupo. Se ha prestado particular atención a la medida en que los alumnos individuales aprenden de otros con los que comparten el grupo.

En relación a estos aspectos, los hallazgos del presente estudio son alentadores. Además de mostrar un nivel satisfactorio de logro general del grupo de trabajo, también han demostrado que ha ocurrido una cantidad significativa de “aprendizaje de otros”, en el sentido de que los alumnos han incluido en sus respuestas individuales escritas, aspectos del conocimiento y comprensión que habían sido aportados inicialmente por otros alumnos a las discusiones del grupo.

La conclusión que se extrae de esto es que los comentarios relacionados con la tarea y las observaciones hechas por los alumnos en el curso de un grupo de discusión representan una fuente importante de conocimiento “compartido” de la cual los alumnos pueden, y lo hacen, aprender. (...)

En nuestro estudio anterior, constatamos que la participación de los alumnos en las discusiones de grupo había sido muy desigual. Según los presentes hallazgos, el nivel de participación de los alumnos en las discusiones de grupo no está correlacionada significativamente con sus logros y el grado en que “aprenden de otros” en el grupo de trabajo. Incluso miembros aparentemente “inactivos” se benefician de su participación en las experiencias de aprendizaje en grupo. Esto debe ser considerado como un hallazgo positivo y alentador para aquellos que han defendido el trabajo en grupo como una estrategia sólida para aprender. (...)” (Kempa y Ayob, 1995).

Sólo resaltar la necesidad de favorecer la máxima interacción entre los grupos, a través de la cual los alumnos pueden asomarse a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y los resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de cotejarlos con los obtenidos por otros, hasta que se produzca suficiente evidencia para que sean aceptados.

Por supuesto, que la intervención del profesor es fundamental: como director de investigaciones es quien posee la visión global del campo en que se trabaja, y quien, por tanto, problematiza el curso y los temas, sabe los obstáculos más importantes a salvar, y se preocupa de que los alumnos estén orientados: que sepan cuál era el problema que se había planteado, qué es lo que se ha avanzado y lo que queda por hacer. Debe identificar las situaciones de "bloqueo" e intervenir para formular las preguntas adecuadas para poder avanzar. En otras ocasiones, claro está, su intervención consistirá en completar o explicar algunas actividades en las que el trabajo de los grupos haya sido incompleto o infructuoso, pero su intervención responderá a una necesidad creada previamente en los alumnos, por tratarse precisamente de cuestiones que ellos se han planteado.

Conviene llamar la atención sobre la necesidad de que el "tiempo escolar de aprendizaje" sea máximo, es decir, el tiempo en que los alumnos están activamente implicados en las tareas, siempre que estas estén adecuadamente diseñadas para hacer avanzar a los alumnos en su aprendizaje sin que disminuya la confianza en sus propias posibilidades. Como buen director de investigación, el profesor debe ser consciente de la importancia de generar actitudes positivas en los alumnos para que sean posibles una enseñanza y aprendizaje efectivos, y de la influencia que sus propias expectativas y comportamiento ejercen en este aspecto.

Efectivamente, es un hecho constatado el descenso de la actitud favorable de los alumnos hacia las ciencias, especialmente de las fisicoquímicas, (Acevedo, 1993) y su aprendizaje a lo largo del periodo de escolarización (James y Smith, 1985; Yager y Penick, 1986; Gibson Y Chase, 2002), y que esta actitud negativa es más acusada hacia las ciencias físicas que hacia las biológicas. La situación es tan grave que el estudio de las actitudes y los factores que influyen en las mismas se han convertido en una línea de investigación prioritaria en la didáctica de las ciencias (Schibecci, 1984; Serrano, 1988; Osborne, Simons y Collins, 2003; Nolen, 2003).

En efecto, existe un creciente consenso entre los investigadores en afirmar que los estudiantes construyen, junto a su visión del "mundo exterior", una visión de sí mismos que se refleja en su autoestima, autoconfianza y sentido de su propia competencia en cada campo (Linn, 1987). Esta autovisión -que determina su motivación y esfuerzo personal y gobierna, por tanto, sus oportunidades educativas- se deriva, en gran medida, de sus experiencias anteriores en ese campo específico. Como indica Hodson (1985), hay considerable evidencia de que dichas actitudes empiezan a formarse tempranamente y que el estilo de enseñanza y la propia imagen de la ciencia que tiene el profesor son factores determinantes de la misma. No se trata, pues, de una tendencia "natural" o espontánea, sino, por el contrario, del desarrollo de un punto de vista de sí mismos al que debe contribuir positivamente la situación de aprendizaje. Las siguientes causas han sido apuntadas como generadoras de deterioro en las actitudes:

- El tipo de enseñanza de las ciencias impartida, basada en una concepción conductista del aprendizaje, que reduce las actividades escolares a la transmisión verbal de conocimientos ya elaborados y a su recepción.
- La imagen deformada que se da en las clases, tanto de científicos como de la propia Ciencia (asépticos, empirismo, operativismo, linealidad, desproblematización, deshumanización, sin conexión con problemas reales,...) (Carrascosa, Fernández, Gil y Orozco, 1993; Fernández et al., 2002; Yore, Hand y Prain, 2002).
- El tipo de evaluación que se limita a la calificación de los estudiantes, genera competencia y transmite una idea elitista (Alonso, Gil, y Martínez Torregrosa, 1996; Nolen, 2003).
- La ausencia de atención a la regulación por los alumnos de sus propios proceso de aprendizaje (Linn, 1987; Baird, 1986).
- Un ritmo de enseñanza que produce que buena parte de los estudiantes se queden atrás (Nolen, 2003, p. 364).

En cambio, se consiguen modificaciones positivas en las actitudes cuando:

- Existen altas expectativas en los profesores respecto a los logros de sus alumnos, de sí mismos y de la propia institución escolar (Rivas, 1986). Los profesores conocen en profundidad su materia y son entusiastas (Osborne, Simons y Collins, 2003).
- Los alumnos perciben que el profesor aprueba y anima el pensamiento independiente y desea una comprensión profunda de los conceptos científicos (Nolen, 2003, p. 363).
- Se realiza un seguimiento cercano de los progresos de los alumnos, proporcionando continua retroalimentación sobre los mismos (Black y Harrison, 2000).

- Hay un clima escolar ordenado, caracterizado por la existencia de un proyecto de Centro que incluye unos objetivos básicos, bien definidos y alcanzables, sobre los que concentrar los esfuerzos de la comunidad escolar.
- Se practica una estructuración docente que permite mayor tiempo a los alumnos para la realización de actividades de síntesis, recapitulaciones, consolidación y dominio de lo trabajado (Koch, 2001; Hand y Prain, 2002; Prain, Hand y Yore, 2003; Osborne, Simons y Collins, 2003).
- Los profesores se encuentran implicados en tareas de innovación e investigación educativas (Rivas, 1986).

En particular, el sistema de evaluación empleado tiene una clara influencia en las actitudes de profesores y alumnos, por lo que se le ha prestado una especial atención dentro del modelo de enseñanza por investigación (Alonso, Gil y Martínez Torregrosa, 1992_a, 1992_b; Martínez Torregrosa, Verdú y Gil, 1999). Efectivamente, hoy se reconoce ampliamente que no importan cuáles sean los objetivos planteados a los alumnos: si la evaluación sigue favoreciendo el aprendizaje repetitivo, sus esfuerzos se orientarán en ese sentido. Se trata de un tema fundamental, al que hasta hace poco no se le había prestado la atención adecuada. Hoy día, la coherencia necesaria entre las innovaciones que se ponen en práctica y el sistema de evaluación, está haciendo que se le preste a este aspecto una renovada atención, desde posiciones muy distintas a los clásicos estudios de docimología. Como señalan Black y Harrison (2000) la incorporación de una evaluación formativa a las aulas de ciencias es el aspecto que produce mayores mejoras en el aprendizaje, especialmente de los alumnos con más dificultades iniciales.

En definitiva se trata de un ambiente de aula, en el que el aprendizaje y la enseñanza se desarrolla en un contexto problematizado, hipotético-deductivo, en el que los alumnos –trabajando en pequeños grupos sobre la secuencia de actividades propuesta por el profesor- tienen oportunidades para pensar, hacer, debatir, argumentar y recapitular. Un ambiente en el que la evaluación está

concebida como un instrumento para ayudar a aprender y enseñar mejor, y que se extiende a todo lo que se considera importante en la enseñanza actual de las ciencias.

No obstante, del mismo modo que hemos realizado una crítica a las estrategias de cambio conceptual, es necesario sacar a la luz posibles críticas que se han planteado o que pueden plantearse a las estrategias de cambio conceptual, metodológico y de implicación actitudinal. Muchas de estas críticas se refieren a determinadas interpretaciones que pueden darse sobre la naturaleza del trabajo científico y de su transposición didáctica. Puesto que la imagen sobre la metodología científica que tienen los profesores forma parte del "currículo oculto" de las clases (Hodson, 1992) que se transmite a los alumnos, trataremos también este aspecto.

1.4.4. Críticas a los modelos de enseñanza de las ciencias por investigación orientada o por resolución de problemas.

Puesto que estamos tratando de justificar por qué organizar la enseñanza y el aprendizaje de los conocimientos científicos de una manera similar a una investigación orientada en torno a problemas de interés, es necesario salir al paso de algunas de las críticas que se han sido publicadas y/o "escuchadas" en actividades de formación de profesores. Las más frecuentes son:

1. ¿Es posible que los alumnos puedan construir los conocimientos científicos que tanto ha costado elaborar? Los estudiantes no son científicos. El conocimiento escolar no es el conocimiento científico.
2. Es un método muy lento, se presta poca atención a los contenidos, se tratan muy pocos temas.
3. Es demasiado exigente y difícil para los alumnos.

1.4.4.a) ¿Es posible que los alumnos puedan construir los conocimientos científicos?

La idea central del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación que hemos propuesto consiste, como acabamos de ver, en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas de interés, a través de las cuales los alumnos puedan participar en la construcción de los conocimientos. Se trata de una estrategia de enseñanza que puede calificarse de radicalmente constructivista, en el sentido de que contempla una participación efectiva de los alumnos en la construcción de los conocimientos y no la simple reconstrucción subjetiva de los conocimientos proporcionados por el profesor o los textos. Ello genera muy a menudo lógicas reticencias: *¿Hasta qué punto no se trata de una propuesta utópica? ¿Tiene sentido -se suele preguntar- esperar que los alumnos puedan construir por si solos todos los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzos exigieron de los más relevantes científicos?*

Como vemos, esta pregunta cuestiona la idea de identificar la actividad de los alumnos a la de los científicos. Ello resulta absolutamente razonable y obliga a precisar qué entendemos por investigación de los alumnos, cuáles son sus semejanzas *y sus diferencias* con la investigación científica, cuál es, en definitiva, la transposición didáctica que se propone.

Esta transposición puede inspirarse, en nuestra opinión, en el proceso de formación de los propios científicos. En efecto, es bien sabido que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, puede alcanzar con relativa rapidez el nivel medio del resto del equipo. Y ello no mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/ formadores son expertos.

Cuando un investigador novel (un doctorando, por ejemplo) se incorpora a un equipo, recibe una atención especial por parte de investigadores expertos (más concretamente, del director de investigación), que tratan de que se apropie del problema planteado, le ayudan fundamentalmente a estar orientado, planificando una estructura para avanzar en el problema planteado y realizando frecuentes

“puestas en común” y recapitulaciones (normalmente ante varios miembros del equipo) donde se revisa lo avanzado en el problema, las dificultades encontradas (superadas o no), aparecen nuevas ideas (aportadas en el contexto de interacción colectiva y siempre con el interés de favorecer el avance “sólido”, en una situación donde no importa tanto la “fuente”, sea el director, los doctorandos u otros investigadores, como que la idea permita avanzar en la solución al problema), se contemplan posibles reorientaciones del trabajo, etc. Es en esta interacción con el director de investigación experto (en ocasiones, un equipo), donde – paulatinamente- los investigadores noveles se van apropiando del problema, de la estrategia para su solución, hasta llegar a lo que Dewey llamaba “Anticipación” (Wong y Pugh, 2001).

Esto es planteado claramente por Metz (1998, p. 92) donde citando el trabajo de Dunbar sobre las interacciones sociales en cuatro laboratorios de vanguardia de biología molecular, el contexto social fue central para ver los problemas de una manera distinta, para superar los bloqueos y lograr el cambio conceptual.

“Avances significativos se producían frecuentemente cuando un investigador presentaba un problema y varios subgrupos se centraban en aspectos del problema, que después eran integrados en una solución global por quien planteó el problema. Mientras los científicos de un grupo de investigación dado, individualmente podían interpretar hallazgos inconsistentes como errores, los grupos operando globalmente analizaban más cuidadosamente la inconsistencia y proponían hipótesis alternativas”. Metz (1998)

Todos los que realizamos investigación, conocemos la necesidad de estructuración, de apoyo emocional y científico, que requieren los investigadores noveles. La falta de esta interacción continua, interesada, realizada en el trasfondo del tema específico sobre el que se investiga, es –de hecho- una de las causas más frecuentes del desánimo y abandono de las personas que se inician en la investigación.

Es verdad que los investigadores noveles tienen una formación en conocimientos específicos que no tienen nuestros estudiantes, y que no existe algo así como “una serie de destrezas científicas que permitan resolver problemas independientemente de los conocimientos que sobre el problema se tienen”. Precisamente un hallazgo irrefutable de la investigación didáctica es la gran

influencia que ejerce el conocimiento específico de un dominio en los procesos de investigación que una persona puede llevar a cabo (Metz, 1998).

“Los expertos, independientemente del campo que sea, siempre se basan en una información básica altamente estructurada; no son solamente “buenos pensadores” o “brillantes”. La capacidad para planificar, advertir patrones, generar argumentos y explicaciones razonables, basarse en analogías con otros problemas,..., están más estrechamente relacionados con el conocimiento factual de lo que nunca se había creído”. (Metz, 1998)

Pero, el conocimiento de un gran conjunto de hechos desconectados no es suficiente. Para desarrollar competencia en un área de investigación, los estudiantes deben tener oportunidades de aprender con comprensión. La comprensión profunda de la materia específica transforma la información factual en conocimiento “utilizable”. (Brandsford, Brown y Cocking, 2000, p. 16).

La formación en los aspectos básicos, fundamentales, de los doctorandos hace posible que puedan abordar problemas muy específicos (la búsqueda de un mecanismo de reacción muy concreto; la consecución de un condensado Bose-Einstein; la disminución del SO₂ de la atmósfera mediante una pila electroquímica; los mecanismos de conexión eléctrica de grupos neuronales;...). Por supuesto, no podrían abordar dichos problemas si no dispusieran de dicho conocimiento. Ello significa que es necesario elegir problemas fundamentales, en los que se plantean “*las grandes ideas científicas*” a los estudiantes, en vez de problemas “colaterales” “técnicos” o “muy específicos”, si queremos que aprendan algunas de las teorías fundamentales de las ciencias, además de algunos rasgos de cómo se produce el conocimiento científico.

La situación cambia, por supuesto, cuando se abordan problemas que son nuevos para todos. El avance, si lo hay, se hace entonces lento y sinuoso. La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos como una construcción de conocimientos responde a la primera de las situaciones, es decir, a la de una *investigación dirigida* sobre problemas fundamentales perfectamente conocidos por el “director de investigaciones” (profesor) y en la que los resultados parciales, embrionarios, obtenidos por los alumnos, pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión, a través del profesor, por los obtenidos por los científicos que les han precedido. No se trata, pues, de “engañar” a los alumnos, de hacerles

creer que los conocimientos se construyen con la aparente facilidad con que ellos los adquieren (Hodson 1985), sino de colocarles en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación: la de aprender en un contexto hipotético-deductivo en el que avanzan con la guía y apoyo de un investigador experto, y durante la que podrán familiarizarse mínimamente con lo que es el trabajo científico y sus resultados, replicando para ello investigaciones ya realizadas por otros, abordando, en definitiva, problemas conocidos por quienes dirigen su trabajo que, conocedores de los obstáculos ya superados y de las ideas que han hecho avanzar, preparan una estructura adecuada.

Debemos insistir en que hablar de los estudiantes como "investigadores noveles", aunque ayuda a entender que no se está proponiendo una absurda identificación entre estudiantes y científicos, es una metáfora (o, si se prefiere, sigue comportando una transposición didáctica) y que la distancia entre la actividad de un estudiante y un auténtico investigador novel sigue siendo enorme: los investigadores noveles abordan (abordamos) situaciones que, aunque familiares para el experto, están próximas a la frontera del conocimiento y comportan un cierto grado de novedad y riesgo. Esa novedad y riesgo se reducen al mínimo en el caso del trabajo escolar, en el que el profesor puede conocer (gracias a la historia de la ciencia, sus experiencias docentes previas, su conocimiento de la investigación didáctica, etc.) las dificultades que encontrarán los estudiantes, prever las ayudas pertinentes, preparar otros resultados para facilitar la confrontación y el análisis, etc. Los ritmos de avance diferirán, pues, radicalmente.

El trabajo escolar se realiza, además, en torno a situaciones muy simplificadas que facilitan el aprendizaje. Ciertamente que cualquier tratamiento científico exige la simplificación de las situaciones, su modelización y acotamiento, pero, como es lógico, estas simplificaciones son mayores en la situación escolar. Ello supone que el conocimiento construido tendrá el carácter de una primera aproximación, susceptible de ulteriores profundizaciones y rectificaciones (por ejemplo: los ciclos y simetrías del movimiento del Sol no son perfectos, pero para comenzar a elaborar/ aprender un modelo Sol/ Tierra no parece recomendable centrarse en las irregularidades de "segundo orden", aunque estas son fundamentales en

Astronomía). Y aunque ello no supone una diferencia cualitativa respecto al conocimiento científico -que también es una aproximación siempre susceptible de profundización y revisiones- sí que existe una clara diferencia de grado, pues el conocimiento escolar queda, a menudo, bastante alejado del nivel alcanzado por la ciencia contemporánea. El modelo o la teoría que es el objetivo del conocimiento escolar no tienen exactamente la misma complejidad que tiene en el conocimiento científico. Aún así, debe tener suficiente entidad para poder realizar predicciones y explicaciones, poder constituir una "concepción del mundo", de cómo son las cosas y qué pueden hacer (Ogborn et al., 1996).

Así pues, estamos, en principio, de acuerdo con una idea expresada por Cubero y García (1994) quienes resumían así su punto de vista: "... *consideramos el conocimiento escolar como el conocimiento que se elabora en la escuela que, por un lado, trasciende las explicaciones cotidianas que se desarrollan fuera de los contextos académicos, y por otro, aunque tiene como marco de referencia el conocimiento científico, no es un conocimiento científico en sí, sino una elaboración de este conocimiento que se ajusta a las características propias del contexto escolar*". Se trata de una idea que conecta con la de "**transposición didáctica del conocimiento científico al conocimiento enseñado**", introducida por Chevelard (1985) en el marco de la investigación en didáctica de las matemáticas, pero con una notable influencia en la investigación francesa en didáctica de las ciencias (Develay, 1992; Josuha y Dupin, 1993). La cuestión, sin embargo, no estriba en este reconocimiento casi trivial (una vez la cuestión ha sido planteada y se ha reflexionado sobre ello), sino en precisar lo que significa que el conocimiento tenga "*como marco de referencia el conocimiento científico*" y en qué consiste la elaboración de ese conocimiento para que se ajuste "*a las características propias del contexto escolar*". Puede ser conveniente en este sentido mostrar la variedad de objetivos que abarca la idea de aprender ciencias. Hodson (1992) distingue tres elementos básicos en lo que él denomina *alfabetización científica*:

- a) **Adquisición de conocimientos científicos**, entendiendo por tal un aprendizaje centrado en el cuerpo de conocimientos conceptuales actualmente aceptado por la comunidad científica.

- b) **Comprensión de la naturaleza de la ciencia**, sus métodos y sus complejas interacciones con la sociedad.
- c) **Aprender a hacer ciencia**, es decir, familiarizarse con la actividad de planteamiento y tratamiento científico de problemas.

Una vez, que hemos dejado claro el carácter de metáfora de considerar a los alumnos como "equipos de investigadores noveles dirigidos y apoyados por un director experto que se enfrentan a problemas de interés", el "peligro", por así decirlo, no parece estar, según las investigaciones realizadas sobre la imagen de la ciencia transmitida por la enseñanza (Désautels et Al., 1993; Meichstry, 1993; Fernández, 2000 ; Fernández et al., 2002), en el intento de ahorrar la actividad de los alumnos a pautas científicas que no se ajusten "*a las características propias del contexto escolar*" sino, más bien, en presentar como "científico" lo que no merece esa calificación desde ningún punto de vista; en realizar, en suma, una transposición didáctica absolutamente deformante del conocimiento científico. El problema, pues, estriba, precisamente, en la escasa coherencia entre las situaciones de enseñanza/ aprendizaje y las que corresponden a la construcción de conocimientos científicos. De hecho, el estudio de las concepciones epistemológicas del profesorado y, más concretamente, de las visiones deformadas que la enseñanza transmite sobre la ciencia se ha convertido en una de las líneas de investigación prioritarias en la didáctica de las ciencias. Trabajos como el de Désautels et al. (1993) ilustran los efectos -nada positivos- de una epistemología implícita que escapa a la reflexión crítica.

La cuestión no se limita, por otra parte, a que los profesores poseamos, o no, concepciones correctas acerca de la ciencia. Como señala Hodson (1993), coincidiendo con otros investigadores, poseer concepciones válidas acerca de la ciencia no supone necesariamente que el comportamiento docente sea coherente con dichas concepciones. Es preciso tomar en consideración, añade, la pérdida de coherencia en el paso de "la retórica a la acción", identificar los posibles conflictos entre concepciones sobre la ciencia y concepciones sobre el aprendizaje, y reconocer la inestabilidad de las posturas filosóficas de los docentes cuando son

confrontadas con las exigencias de "la realidad" (programas, limitaciones de tiempo, necesidad de calificar...).

El problema principal, según el análisis de Hodson, que compartimos, estriba en que lo que realmente se hace en el aula no es coherente con las concepciones sobre la ciencia epistemológicamente correctas o cercanas. Esta incoherencia ha sido reiteradamente resaltada en la literatura en lo que respecta a las concepciones empiristas del profesorado de ciencias, que priman una observación y experimentación "neutras" ("no contaminadas por ideas apriorísticas"), olvidando el papel esencial de las hipótesis y la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos (Giordan, 1978; Gil, 1983; Hodson, 1985; Millar y Driver, 1987; Meichstry, 1993). Pero no se trata únicamente de este reduccionismo experimentalista que identifica trabajo científico casi exclusivamente con observación y trabajo de laboratorio. Junto a éste se dan otros reduccionismos y deformaciones cuya incidencia ha sido puesta en evidencia (Casadellà y Bibiloni, 1985; Gil, 1993; Gil, Colombo y Salinas, 1993; Carrascosa, Fernández, Gil y Orozco, 1993) y que resumimos en el **Cuadro 1.2** (de Gil, 1993).

Cuadro 1.2. Visiones deformadas sobre la ciencia transmitida por la enseñanza (Gil, 1993)

<p>Visión empirista y ateorica: Se resalta el papel de la observación y de la experimentación "neutras" (no contaminadas por ideas "apriorísticas"), olvidando el papel esencial de las hipótesis y de la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos (teoría).</p> <p>Por otra parte, pese a esta importancia dada (verbalmente) a la observación y experimentación, en general la enseñanza es puramente libresca, sin apenas trabajo experimental.</p> <p>Se incide particularmente en esta visión ateorica cuando se presenta el aprendizaje de la ciencia como una cuestión de "descubrimiento" o se reduce a la práctica de "los procesos" con olvido de los contenidos.</p>
<p>Visión rígida (algorítmica, "exacta", infalible...): Se presenta el "Método Científico" como conjunto de etapas a seguir mecánicamente, según una secuencia lineal. Se resalta, por otra parte, lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., olvidando -o, incluso, rechazando- todo lo que significa invención, creatividad, duda... Se reduce, en suma, la complejidad y riqueza esenciales de la actividad científica a una receta simplista</p>
<p>Visión apromblemática y ahistórica (ergo dogmática): Se transmiten conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción, cuál ha sido su evolución, las dificultades, etc., ni mucho menos aún, las limitaciones del conocimiento actual o las perspectivas abiertas.</p>
<p>Visión exclusivamente analítica, que resalta la necesaria parcialización de los estudios, su carácter acotado, simplificadorio, pero que olvida los esfuerzos posteriores de unificación y de construcción de cuerpos coherentes de conocimientos cada vez más amplios, el tratamiento de problemas "frontera" entre distintos dominios que pueden llegar a unirse, etc.</p>
<p>Visión acumulativa, lineal: Los conocimientos científicos aparecen como fruto de un crecimiento lineal, ignorando las crisis, las remodelaciones profundas. Se ignora, en particular, la discontinuidad radical entre el tratamiento científico de los problemas y el pensamiento ordinario.</p>
<p>Visión de "sentido común": Los conocimientos se presentan como claros, obvios, "de sentido común", olvidando que la construcción científica parte, precisamente, del cuestionamiento sistemático de lo obvio.</p> <p>Se contribuye implícitamente en esta visión cuando se practica el reduccionismo conceptual, es decir, cuando se presenta el paso de las concepciones alternativas de los alumnos a los conocimientos científicos como simple cambio de ideas, sin tener en cuenta los cambios epistemológicos y axiológicos que exige dicha transformación, es decir, cuando se ignoran las diferencias substanciales que existen entre el pensamiento de sentido común y el tratamiento científico de los problemas.</p>
<p>Visión "velada", elitista: Se esconde la significación de los conocimientos tras el aparato matemático. No se hace un esfuerzo por hacer la ciencia accesible, por mostrar su carácter de construcción humana, en la que no faltan ni confusión ni errores... como los de los propios alumnos.</p> <p>En el mismo sentido, se presenta el trabajo científico como un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, transmitiendo expectativas negativas hacia la mayoría de los alumnos, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual (la ciencia es presentada como una actividad eminentemente "masculina").</p>
<p>Visión individualista: Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos... Se deja creer, en particular, que los resultados de un sólo científico o equipo pueden verificar o falsar una hipótesis.</p>
<p>Visión descontextualizada, socialmente neutra: Se olvidan las complejas relaciones C/T/S y se proporciona una imagen de los científicos como seres "por encima del bien y del mal", encerrados en torres de marfil y ajenos a las necesarias tomas de decisión.</p> <p>Como reacción puede caerse en una visión excesivamente sociologista de la ciencia que diluye completamente su especificidad, así como en planteamientos muy simplistas: exaltación de la ciencia como factor absoluto de progreso o rechazo sistemático (a causa de su capacidad destructiva, efectos contaminantes, etc.).</p>

Un problema básico que se plantea hoy la investigación e innovación en didáctica de las ciencias es, insistimos, superar estas visiones deformadas del trabajo y conocimientos científicos transmitidas habitualmente por la enseñanza (fruto de una transposición didáctica "espontánea", implícita y escasamente fundamentada) y transmitir la visión más creativa, abierta y socialmente contextualizada que proporciona la epistemología contemporánea.

En resumen: la relación entre conocimiento escolar y conocimiento científico, desde una óptica constructivista, no es vista como una ilusa identificación de ambos. Pero sí -y esto es lo que conviene resaltar- como una buena aproximación, susceptible, además, de facilitar una adquisición significativa de conocimientos y de comunicar al trabajo de los estudiantes el interés de una actividad más abierta, creativa y contextualizada.

1.4.4. b) ¿El modelo de enseñanza/ aprendizaje por investigación orientada, no requiere excesivo tiempo, lo que reduce los contenidos a tratar? ¿No es excesivamente exigente para los alumnos?

Se tratan de unas preocupaciones que suelen ser expresadas con relativa frecuencia por profesores que acaban de escuchar o participar en alguna actividad de formación donde se les presenta el modelo de enseñanza por investigación.

La cuestión del tiempo la expresan, además, como si lo que importara fuera la cantidad de materia "dada" por el profesor, y no la que puede ser aprendida con comprensión por los alumnos. Y ello a pesar de la evidencia reiterada del escaso aprendizaje conseguido por los alumnos en la enseñanza habitual. A título de ejemplo, el desarrollo de los temas sobre Astronomía diurna (las estaciones del año y el Sistema Sol/ Tierra), que se comentarán en el capítulo 3, lleva un tiempo medio de 20 a 24 horas de clase. Según los resultados de investigación (Martínez Sebastián, 2003) la gran mayoría de los alumnos llegan a comprender y utilizar la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento observable del Sol y son capaces de utilizar el modelo Sol/ Tierra para explicar y hacer predicciones sobre cómo se verá el Sol. ¿Puede ser considerado un tiempo excesivo cuando se compara con el

tiempo que –desde la etapa primaria- se les ha “hablado” sobre el movimiento de la Tierra y las estaciones, sin que llegaran a comprender realmente nada?

El que aprender conocimientos científicos con comprensión requiere tiempo es expresado claramente por Bransford et al. (2000), página 56 y sigs): *“Los intentos de cubrir demasiados tópicos demasiado rápidamente puede obstaculizar el aprendizaje y la transferencia subsiguiente porque los estudiantes: a) aprenden sólo conjuntos de hechos aislados que no están organizados ni conectados, o b) son introducidos a principios organizadores de los que no pueden apropiarse porque carecen del conocimiento específico suficiente para darles significado”.*

Y, reproduciendo textualmente una de las conclusiones del congreso de la GIREP en el año 2000 (Physics Education in the New Millenium, Black, 2000), *“la investigación sobre las condiciones para el aprendizaje efectivo ha dejado claro que enseñar y evaluar conocimiento factual únicamente (incluso con la esperanza de que la comprensión y utilización se producirá más tarde), simplemente no funciona”.*

Para que haya transferencia de un tema a otro, el factor que más influye es el grado en que se haya aprendido con comprensión el tema desde el que se transfiere. Y aprender con comprensión requiere tiempo para probar, debatir, hacer, recapitular, poner a prueba lo que se piensa, etc. Esto hace que cuando se va rápido desde el principio los alumnos “se encuentren perdidos” rápidamente, siendo incapaces de integrar la nueva información. El tratamiento en profundidad de los temas fundamentales favorece la transferencia a otros temas que se basan en ellos, con lo que, globalmente, el avance real, firme, es mayor.

Más aún, la preocupación por el excesivo tiempo que puede llevar una enseñanza basada en el tratamiento de situaciones problemáticas de interés, debería estar causada, lógicamente, por la preocupación de que así no aprenderán temas que podrían aprender. Dicho de otro modo: si se dan más temas los alumnos sabrán más. Esto se trata de una cuestión de hecho, que puede ser sometida a prueba. En los capítulos 5 y 6 veremos, mediante un metaanálisis sobre varios temas, que encontramos todo lo contrario: las diferencias en la

comprensión conceptual de los estudiantes que han sido instruídos dentro del modelo de enseñanza por investigación y los que han seguido una enseñanza habitual son enormes.

Los alumnos de la autora y el director de esta investigación han debido someterse a pruebas externas selectivas, y en ningún caso han encontrado dificultades mayores que otros alumnos.

La segunda de las preocupaciones –la que supone una mayor exigencia para los alumnos- parece más seria. ¿El generar un ambiente donde continuamente los alumnos tengan que estar pensando, argumentando, enfrentándose a tareas abiertas,..., no estará por encima de sus posibilidades? ¿Serán capaces de enfrentarse a problemas de papel y lápiz con enunciados abiertos, sin datos?

Se trata de una cuestión que también preocupa a la autora de esta investigación, y que consideramos un aspecto fundamental que debemos someter a contrastación: ¿la enseñanza problematizada genera actitudes más negativas que la habitual en los alumnos?, ¿les parece excesivamente difícil y terminan “huyendo” de la Física o la Química? Si eso fuera así, sería una grave deficiencia de nuestro modelo, ya que uno de los objetivos irrenunciables de la educación científica es generar actitudes positivas hacia las ciencias y su aprendizaje, y –por muchas virtudes que pudiera tener- cualquier modelo que falle en esto, no puede aspirar a tener relevancia didáctica.

Como veremos, en los capítulos 5 y 6, buena parte de los diseños experimentales que hemos utilizado a lo largo de este trabajo permiten valorar de manera muy variada el efecto de una enseñanza con una estructura problematizada –por investigación orientada- en las actitudes de los alumnos desde 3º de ESO hasta universitarios. Esto afecta a las estrategias metacognitivas de los estudiantes, un factor que está mereciendo una creciente atención (Gonida, Kiosseoglou y Psillos, 2003).

1.5. Un consenso, en aspectos fundamentales, cada vez mayor

Para concluir este capítulo destinado a justificar por qué organizar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias como un proceso de investigación orientada, deseamos resaltar la convergencia existente desde líneas muy distintas de investigación.

En efecto, nuestra propuesta de favorecer el cambio conceptual, metodológico y actitudinal, organizando la enseñanza en torno al planteamiento de situaciones problemáticas de interés (Furió y Gil, 1978; Driver y Olham, 1986; Cañal y Porlán, 1987; Gil y Martínez Torregrosa, 1987; Duschl, 1997; Burbules y Lin, 1991; Gené, 1991; Gil et al., 1991; Guisasola y de la Iglesia, 1997; ...), donde el aula se convierte en una comunidad de aprendices dirigidos por un investigador/ experto, que actúa como director y representante de la comunidad científica, es coincidente, en aspectos muy importantes, con otras propuestas realizadas desde líneas de investigación distintas, pero dentro de la orientación constructivista. Tanto en lo que se refiere a la integración del desarrollo conceptual y metodológico (o conceptos y procesos), como al clima del aula y al papel del profesor.

Así, el diagrama de Gowin (Novak y Gowin, 1988) es una técnica que resalta los aspectos epistemológicos, y podría ser utilizada como un instrumento para diseñar y planificar el desarrollo de la enseñanza a partir del tratamiento de situaciones problemáticas. Del mismo modo, en palabras de González y Novak (1993)

“La perspectiva constructivista contribuye a superar el enfrentamiento existente en el ámbito de las ciencias sobre si el profesor debe enfatizar los contenidos o los procesos de la ciencia, especialmente si se utilizan instrumentos metacognitivos como los diagramas “V” y los mapas conceptuales. En relación a esto, deben enseñarse simultáneamente los procesos de la ciencia y sus conceptos y principios, si nuestro objetivo es el aprendizaje significativo, es decir, un aprendizaje que habilite a los alumnos para encargarse de su futuro de forma creativa y constructiva” (p. 26).

“El aprendizaje constructivista, enraizado en la psicología, se apoya mutuamente y es necesario para la enseñanza constructivista, enraizada en la epistemología. (...). El peligro

reside en la instrucción o educación de los profesores que ignoran o contradicen esa simbiosis” (p. 237).

Igualmente, desde la ciencia neurocognitiva, que, según Sauleda y Martínez (1994), está llamada a jugar un papel relevante en la Didáctica de las Ciencias, las conclusiones de los trabajos recientes apoyan las estrategias de enseñanza comunes a la orientación constructivista (Schaverien y Cosgrove, 1999 y 2000). Incluso, desde un punto de partida tan distinto al nuestro como es la hipótesis de que “el conocimiento es un patrón espaciotemporal de impulsos nerviosos en nuestro córtex cerebral” (“el conocimiento o los esquemas son patrones de impulsos que se extienden, como ondas sonoras, por toda la red neuronal”), Hendry y King (1994) en su documentado artículo, concluyen que “los contextos continuados de discusión en clase y en pequeños grupos es un método apropiado tanto para averiguar los conocimientos previos de los estudiantes, como para maximizar las oportunidades para la construcción del conocimiento deseado”, y “el profesor debe poseer un conocimiento de la materia adecuado, interactivo, relacional, para poder diagnosticar las ideas de los estudiantes e introducir discusiones apropiadas para promover los cambios pretendidos. Necesita evaluar progresivamente, junto con los alumnos, este desarrollo, y revisar el currículum respecto al conocimiento en evolución de los estudiantes”.

En la revista Science Education, otro investigador en neurocognición (Anderson, 1997) propone las siguientes implicaciones para la enseñanza de las ciencias:

“Las estrategias de aprendizaje cooperativo, y otras formas de aprendizaje en grupo, pueden suministrar no sólo un contexto más amplio para construir y reconstruir información en la memoria, sino que suministran también los contextos culturales y socio emocionales que fomentan que el aprendiz se implique más efectivamente en la resolución de problemas y en el procesamiento lógico de la información” (p. 79).

“(…) los ambientes de aprendizaje deben ser organizados para fomentar el diálogo entre los participantes, animar al pensamiento crítico, apoyar la reconstrucción de la información, y promover la reflexión interna, utilizando un rango lo más amplio posible de esquemas de procesado de información”.

“La implicación activa del que aprende maximiza la activación de los esquemas, anima al trabajo de transformarlos, y motiva al que aprende a aumentar las redes de ideas,

especialmente cuando se percibe que las tareas facilitan la solución de problemas y promueven la adaptación al entorno” (p. 86).

“... el sistema nervioso central, como hemos explicado anteriormente, está organizado para autorregularse. Tiene la capacidad de integrar su actividad controlando el estado de sus partes componentes (módulos) y ajustar la actividad de las mismas para maximizar el procesado de información. Para complementar este proceso siempre en marcha, las experiencias de aprendizaje deben suministrar la oportunidad a los estudiantes para evaluar su propio progreso, reconciliar sus expectativas con la evidencia externa, y permitirles que construyan un conjunto coherente de criterios internos para autoevaluar el progreso. Dicha coordinación del ambiente de aprendizaje con comprobaciones y balances internos, mejora la coherencia del procesado de información, reduce las descompensaciones entre los mecanismos evaluativos internos y los presentados externamente, y, por tanto, contribuye a la homeostasis (funcionamiento equilibrado del sistema nervioso central)” (p. 86).

Para constatar, aún más este consenso, terminaremos con uno de los “Standard” para la enseñanza de las ciencias del último de los “diseños curriculares” realizados en los países desarrollados (National Science Education Standards, 1996):

“Los profesores de ciencias guían y facilitan el aprendizaje. Para hacer esto, los profesores:

- *Proponen, orientan y apoyan investigaciones interaccionando con los estudiantes.*
- *Organizan las discusiones entre los estudiantes sobre ideas científicas.*
- *Retan a los estudiantes a aceptar y compartir la responsabilidad de su propio aprendizaje.*
- *Reconocen y responden a la diversidad de estudiantes y animan a todos a participar plenamente en el aprendizaje de las ciencias.*
- *Fomentan y modelan las destrezas de investigación científica, al igual que la curiosidad, la apertura a nuevos datos e ideas, y el escepticismo que caracteriza la ciencia”.*

Abordamos, a continuación, la cuestión básica de cómo planificar los temas y cursos desde nuestro modelo de enseñanza/ aprendizaje / evaluación.

UNA PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS TEMAS Y LOS CURSOS EN EL MODELO DE ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN

Si, como hemos intentado fundamentar, el aprendizaje sólido de los conocimientos científicos implica el desarrollo simultáneo de procesos de producción y aceptación típicos del trabajo científico, y de la implicación axiológica necesaria para que esa tarea tan exigente pueda llevarse a cabo, la planificación de un curso y de los temas en él desarrollados no puede responder simplemente a la lógica que expresa la secuencia “¿qué objetivos deben lograr los estudiantes?, ¿qué contenidos impartir?, ¿cómo ha de ser el examen para constatar el aprendizaje logrado?”. Como hemos señalado, lo que caracteriza el proceso de producción y aceptación de conocimientos científicos es que se desarrolla en un contexto problematizado, donde se abordan situaciones problemáticas de interés y se avanza de una manera tentativa hacia posibles soluciones (Martínez Torregrosa Doménech y Verdú, 1993; Martínez Torregrosa, Climent y Verdú, 1994; Gil, Furió et al, 1999; Verdú et al, 2002; Martínez Torregrosa et al., 2003). Por tanto, la planificación de los temas y cursos dentro de nuestro modelo obliga a formularse las preguntas “¿cómo problematizar el curso y cada uno de los temas incluidos para favorecer el aprendizaje con sentido?, ¿cómo integrar el aprendizaje conceptual, los trabajos prácticos y la resolución de problemas de “papel y lápiz” en una estructura problematizada más amplia? y ¿cómo evaluar para impulsar y orientar dicho aprendizaje?”.

Hasta ahora las investigaciones realizadas dentro del modelo de enseñanza y aprendizaje como investigación dirigida han abordado la transformación de los trabajos prácticos, la resolución de problemas y la evaluación habituales para favorecer el cambio conceptual, metodológico y la implicación actitudinal. Ahora nos planteamos cómo modificar en el mismo sentido todo un tema o, incluso, un

curso o gran fragmento del mismo, integrando el aprendizaje de conceptos y modelos y su desarrollo (la "teoría", en terminología convencional, las "prácticas" y los "problemas"). Esto exige, como punto de partida, cuestionar la distinción clásica entre estos tres "elementos" de un tema que han seguido siendo contemplados, en general, como elementos autónomos, y tanto las investigaciones como las propuestas de innovación derivadas continúan abordando aisladamente *cada uno* de estos aspectos (Gabel 1994).

Intentaremos mostrar que la orientación del aprendizaje como una investigación dirigida priva de sentido a esta separación que, conviene notar, *no guarda paralelismo alguno con la actividad científica real*. En la medida en que pretendamos proporcionar a los estudiantes una visión correcta del trabajo científico, el tratamiento por separado de aspectos ("la teoría", "las prácticas" y "los problemas") que en la actividad científica aparecen absolutamente imbricados, se convierte en un factor distorsionante, es decir, en un obstáculo. Hemos de reconocer, sin embargo, que esta elemental consideración no ha bastado para rechazar claramente esta compartimentación de la actividad escolar. Ello constituye, pensamos, un ejemplo más del peso de tradiciones asumidas acríticamente. Afortunadamente, los avances realizados por la investigación e innovación didácticas, en cada uno de los tres campos, ha ido mostrando convergencias que reclaman su integración en un único proceso. A continuación nos referiremos brevemente a estas convergencias.

2.1. La transformación de las prácticas de laboratorio y de los problemas de lápiz y papel

La idea de buscar en la realización de abundantes trabajos prácticos la superación de una enseñanza puramente libresca y la solución a las dificultades en el aprendizaje de las ciencias cuenta con una larga tradición (Lazarowitz y Tamir 1994). De hecho constituye una intuición básica de la generalidad de los profesores de ciencias, que contemplan el paso a una enseñanza eminentemente experimental como una especie de "revolución pendiente" (Gil et al., 1991), permanentemente dificultada, en la mayoría de los países, por factores externos (falta de instalaciones y material adecuado, excesivo número de alumnos, carácter

enciclopédico de los currícula ...). La influencia de esta tendencia ha sido particularmente notable en el mundo anglosajón, donde en los años 60/70 se elaboraron y pusieron en práctica numerosos proyectos de aprendizaje "por descubrimiento autónomo", centrados en el trabajo experimental y en "los procesos de la ciencia" (con olvido de los contenidos). No podemos detenernos aquí en el análisis de las serias limitaciones de estas propuestas de aprendizaje (Ausubel, 1978; Gil, 1983; Millar y Driver, 1987; Sanmartí et al., 1990; Salinas y Colombo, 1992). Y aunque la orientación más general de los trabajos prácticos es la que los concibe como mera ilustración de los conocimientos teóricos introducidos, numerosos autores han destacado que, en ambos casos, las prácticas de laboratorio aparecen como "recetas" que transmiten una visión deformada y empobrecida de la actividad científica (Hodson, 1985 y 1992_b; Gené, 1986; Gil y Payá, 1988; Gil et al., 1991; Payá, 1991).

Debemos señalar, sin embargo, que cuando se favorece una discusión detenida de la naturaleza del trabajo científico, los mismos profesores que conciben las prácticas de laboratorio como simples recetas ilustrativas, ven la necesidad de concebirlas orgánicamente vinculadas al tratamiento de un problema relevante, a la construcción de hipótesis que focalicen la investigación, a la invención de diseños experimentales, etc., incorporando aspectos clave de la actividad científica habitualmente ignorados (Gil et al., 1991).

Podría concluirse que existe una disposición positiva para considerar a las prácticas de laboratorio como ocasión de familiarizar a los estudiantes con el trabajo científico y que resulta relativamente simple conseguir que los profesores cuestionen las prácticas "receta" y hagan suyas propuestas que ofrecen una visión más correcta de la ciencia (Gené, 1986; Payá, 1991; González, 1994; Salinas, 1994 y 2004; Varela y Martínez, 1997; Garritz e Irazoque, 2004;...). Sin embargo, esa relativa facilidad para transformar los trabajos prácticos sigue escondiendo, en nuestra opinión, una visión reduccionista de la actividad científica, que asocia prioritariamente investigación a trabajo experimental, y que ha actuado como obstáculo en la renovación de otros aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias.

En efecto, la asociación de las prácticas de laboratorio con el trabajo científico responde, como ya hemos indicado, a una intuición básica, tanto de los profesores como de los propios estudiantes, y ello facilita, sin duda, la superación de las prácticas "receta" y su enriquecimiento, con la inclusión de aspectos clave de la actividad científica como la construcción de hipótesis, etc. La transformación de los problemas de lápiz y papel, sin embargo, ha tropezado con dificultades muy superiores, pese a la abundante investigación realizada en este campo (recordemos, p.ej., que en el "*Handbook of Research on Science Teaching and Learning*" (Gabel, 1994), de un total de 19 capítulos, 6(!) están dedicados a la resolución de problemas).

El origen de estas dificultades ha sido analizado en otros trabajos (Gil y Martínez Torregrosa, 1983; Gil, Martínez Torregrosa y Senent, 1988; Gil, Dumas-Carré et al., 1990; Gil y Pessoa, 1994; Furió, Iturbe y Reyes, 1994; Perales, 2000; Oñorbe, 2003;...) y son muy numerosas las tesis doctorales que se han centrado en "el problema de los problemas" (Martínez Torregrosa, 1987; Dumas-Carré, 1987; Ramírez, 1990; Goffard, 1990; Reyes, 1991; Oñorbe, 1993 ; Varela, 1994;...). Nos limitaremos aquí a recordar que uno de los principales obstáculos estriba en el hecho de que, en realidad, *no se enseña a resolver problemas*, es decir, a enfrentarse a situaciones desconocidas, ante las cuales el resolvente se siente inicialmente perdido, sino que *los profesores explicamos soluciones* que nos son perfectamente conocidas y que, por supuesto, no nos generan ningún tipo de dudas ni exigen tentativas. La pretensión del profesor es que el estudiante vea con claridad el camino a seguir, o, dicho con otras palabras, pretendemos convertir el problema en un no-problema. Consecuentemente, los estudiantes pueden aprender dicha solución y repetirla ante situaciones prácticamente idénticas, pero no aprenden a abordar un verdadero problema y cualquier pequeño cambio les supone dificultades insuperables provocando manipulaciones no significativas de datos, fórmulas e incógnitas y, muy a menudo, el abandono.

Sin embargo, la cuestión "¿qué hemos de entender por problema?" permite iniciar un proceso de clarificación que desbloquea la renovación de la didáctica de la resolución de problemas (Gil, Martínez Torregrosa y Senent, 1988; Garrett et al., 1990; Gil y Pessoa, 1994). En efecto, si se acepta la idea de que todo

problema es una situación ante la cual se está inicialmente perdido, resulta lógico preguntarse, para enfocar la resolución de problemas científicos, qué es lo que hacen los científicos cuando se enfrentan con lo que para ellos constituye un verdadero problema y no ante un enunciado de lápiz y papel como los que se incluyen en los libros de texto. Se puede esperar que delante de problemas de lápiz y papel los científicos -que son a menudo profesores- adopten actitudes características de la enseñanza habitual y consideren los problemas como situaciones que se debe saber resolver y no como verdaderos problemas. En este sentido, los estudios hechos sobre la manera en que los "expertos" abordan los "problemas" de lápiz y papel estarían todavía muy lejos de lo que supone enfrentarse a un verdadero problema. Es pues más útil preguntarse qué es lo que los científicos hacen cuando tienen que vérselas con auténticos problemas para ellos. La respuesta en este caso es "simplemente" que se comportan como investigadores, implicándose en una actividad compleja y creativa de razonamiento en términos de hipótesis, etc. (Gil et al., 1991). Pero antes de intentar precisar lo que supondría un enfoque investigativo en la resolución de problemas de lápiz y papel, cabe preguntarse cuál es la razón de que habitualmente no se piense en un enfoque como ese cuando se plantean dichos problemas. Con otras palabras, *¿qué es lo que en los enunciados habituales puede dificultar un tratamiento científico de los problemas, hasta el punto de no hacer pensar ni siquiera en la conveniencia de construir alguna hipótesis orientadora?*

Una pregunta como ésta lleva a comprender que la inclusión de los datos en el enunciado, como punto de partida, orienta la resolución hacia el manejo de unas determinadas magnitudes sin que ello responda a una reflexión cualitativa ni a las subsiguientes hipótesis. De este modo, al resolver un problema, el alumno se ve abocado a buscar aquellas ecuaciones que pongan en relación los datos e incógnitas proporcionados en el enunciado, cayendo así en un puro operativismo. No basta, pues, denunciar dicho operativismo: se trata de hacerlo imposible atacando sus causas. La comprensión de que la presencia de los datos en el enunciado, así como la indicación de todas las condiciones existentes -todo ello como punto de partida- responde a concepciones inductivistas y orienta incorrectamente la resolución (los científicos han de *buscar* los datos que consideran pertinentes, ino se encuentran con ellos encima de la mesa!)

constituye un paso esencial en el desbloqueo de la enseñanza habitual de problemas y sus limitaciones. Pero al mismo tiempo genera desconcierto, porque choca con la práctica reiterada, con lo que "siempre" se ha hecho. Un enunciado sin datos, se señala, ¿no será algo excesivamente ambiguo frente a lo cual los alumnos acaben extraviándose? Ahora bien, la ambigüedad, o, dicho con otras palabras, las situaciones abiertas, ¿no son acaso una característica esencial de las situaciones genuinamente problemáticas? ¿Y no es también una de las tareas fundamentales del trabajo científico acotar los problemas abiertos, imponer condiciones simplificadoras?

Otra dificultad que suele apuntarse durante esta discusión se refiere a la posibilidad de eliminar los datos y precisiones de los enunciados habituales y construir enunciados más abiertos capaces de generar una resolución acorde con las características del trabajo científico. A este respecto, el trabajo realizado en numerosos talleres y cursos de perfeccionamiento del profesorado, ha permitido constatar que los enunciados habituales son "traducibles" sin dificultad. Así, por ejemplo, el enunciado:

"Sobre un móvil de 5000 kg, que se desplaza con una velocidad de 20 m/s, actúa una fuerza de frenado de 10 000 N ¿qué velocidad llevará a los 75 m de donde comenzó a frenar?"

puede ser traducido a una situación más abierta y que no señale cuáles son las magnitudes relevantes, como la siguiente:

"Un coche comienza a frenar cuando el chofer ve la luz amarilla ¿qué velocidad llevará al llegar al semáforo?"

Por supuesto, son posibles distintos enunciados, distintas situaciones problemáticas, más o menos abiertas; así, el problema anterior puede dar lugar, entre otros muchos, a este enunciado que, aunque aparentemente diferente plantea una situación muy similar:

"¿Chocará el tren contra la roca caída en la vía?"

De hecho, cuando se plantea a varios grupos la traducción de un mismo enunciado tradicional, se obtienen distintas propuestas de situaciones

problemáticas, en general igualmente válidas. En cualquier caso interesa destacar que estas traducciones no plantean dificultades mayores y que cualquier enunciado habitual es transformable en situación problemática (Gil y Martínez Torregrosa, 1987^a, Martínez Torregrosa, 1987). Por otra parte subsiste la cuestión de cómo orientar a los alumnos para abordar dichas situaciones, puesto que no basta, obviamente, con enfrentarles a enunciados sin datos para lograr una actividad exitosa.

No podemos detenernos aquí a describir y fundamentar la propuesta de resolución de problemas como investigación que se deriva de estos planteamientos y que ha sido calificada, en el "*Handbook of Research on Science Teaching and Learning*", como "*an interesting alternative approach to problem solving*" (Maloney, 1994). Señalaremos tan sólo que la cuestión de qué orientaciones proporcionar a los estudiantes para abordar la resolución de problemas sin datos (con lo que ya no es posible el simple juego de datos, fórmulas e incógnitas) conduce, tras una mínima clarificación de qué entender por trabajo científico, a avanzar propuestas similares a las que resumimos en el **cuadro 2.1** (Gil, Furió et al., 1999).

Conviene hacer hincapié en que las orientaciones resumidas en dicho cuadro **no** constituyen un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los estudiantes. Por el contrario, se trata de indicaciones genéricas destinadas a llamar la atención contra ciertos "vicios metodológicos" connaturales: la tendencia a caer en operativismos ciegos o a pensar en términos de certeza, lo que se traduce en no buscar posibles caminos alternativos de resolución o en no poner en duda y analizar cuidadosamente los resultados, etc.

Una reorientación de la resolución de problemas como la propuesta ha sido ya utilizada sistemáticamente por numerosos profesores con resultados muy positivos, tanto en lo que respecta a la mejora de la capacidad de los estudiantes para enfrentarse a las situaciones problemáticas (*incluidos los problemas estándar de la enseñanza habitual*), como en lo que se refiere a su interés por la resolución de problemas, que les resulta ahora una actividad mucho más creativa y satisfactoria (Gil, Martínez Torregrosa y Senent, 1988; Furió, Iturbe y Reyes, 1994)

Cuadro 2.1. Aspectos esenciales en la resolución de problemas como investigación

Discutir cuál puede ser el <i>interés de la situación problemática</i> abordada. Esta discusión, además de favorecer una actitud más positiva, permitiendo una aproximación funcional a las relaciones CTS, contribuye a proporcionar una concepción preliminar de la tarea, evitando que los estudiantes se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora.
Realizar un <i>estudio cualitativo de la situación</i> , intentando acotar y definir de manera precisa el problema, tomando decisiones sobre las condiciones que se consideran reinantes, etc.
Emitir <i>hipótesis fundadas</i> sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límite de fácil interpretación física.
Elaborar y explicitar posibles <i>estrategias de resolución</i> (en plural) antes de proceder a ésta, para posibilitar una contrastación rigurosa de las hipótesis y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.
Realizar la resolución verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, el puro ensayo y error u operativismos carentes de significación física. Conviene, en general, comenzar con una resolución literal (que permite mantener el tratamiento próximo a los principios manejados y facilita el análisis de los resultados). Dicha resolución literal puede completarse después solicitando los datos correspondientes al profesor (o, mejor, introduciendo valores plausibles de los mismos).
Analizar cuidadosamente los resultados a la luz del cuerpo de conocimientos y de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límites considerados.
Considerar las perspectivas abiertas por la investigación realizada, contemplando, por ejemplo, el interés de abordar la situación a un nivel de mayor complejidad, sus implicaciones teóricas (profundización, p.e., en la comprensión de algún concepto) o prácticas (aplicaciones técnicas). Concebir, muy en particular, nuevas situaciones a investigar, sugeridas por el estudio realizado
Elaborar una recapitulación que explique el proceso de resolución y que destaque los aspectos de mayor interés en el tratamiento de la situación considerada que pueden aportar una mejora en la competencia de los resolventes. Recoger, pues, en esta recapitulación aspectos conceptuales, metodológicos y actitudinales (P. Ej.: por qué no se cumplen las hipótesis iniciales; qué ideas erróneas o fijaciones han supuesto obstáculos; dónde ha habido mayor dificultad y cómo se ha superado; qué se ha hecho cuando no se estaba seguro del camino a seguir;...).

Pero lo que aquí queremos resaltar, sobre todo, es el hecho de que *una propuesta como la que acabamos de resumir se asemeja notablemente a la orientación dada a las prácticas de laboratorio como investigación dirigida*. Puede pensarse, pues, en abrazar las prácticas de laboratorio y la resolución de problemas de lápiz y papel como variantes de una misma actividad: el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, con una orientación próxima a lo que constituye el trabajo científico. De hecho, la puesta a prueba de una hipótesis, en una investigación real, puede y debe hacerse tanto experimentalmente como mostrando la coherencia de sus implicaciones con el cuerpo de conocimientos aceptado por la comunidad científica.

Se diluyen así las marcadas diferencias que, en la enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados, se dan entre las prácticas de laboratorio y los

problemas de lápiz y papel. Pero es posible, y necesario, ir más allá en este proceso de integración, extendiéndolo a lo que en el lenguaje docente habitual denominamos "la teoría". Intentaremos mostrar esto en el siguiente apartado.

2.2. La transformación de la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos y modelos

Los conceptos y modelos suelen introducirse en la enseñanza habitual de una forma aproblemática, sin referencia a los problemas que están en el origen de su génesis (Carrascosa, 1987; Gil, Martínez Torregrosa, y Verdú, 1989; Verdú, 1990) como, en palabras de Arons (1988) *"si fueran inevitables, formaciones rocosas que han existido desde siempre"*. Ello es coherente con una enseñanza basada en la transmisión de "lo que es" para que los alumnos, tras la realización de ejercicios, fijen su significado. La presentación de conceptos, relaciones entre conceptos (leyes) y modelos como definiciones que constituyen el punto de partida para la enseñanza y el aprendizaje, transmite una visión inductivista y deformada de la ciencia que ya hemos señalado en el capítulo anterior (Pág.63). Dicha forma de iniciar el aprendizaje conceptual no se justifica desde el punto de vista de los efectos que produce, pues ya hemos mostrado la persistencia de ideas espontáneas erróneas, incluso en los estudiantes con éxito académico, y su influencia negativa sobre las actitudes de los alumnos. Tampoco se sostiene por su coherencia con la epistemología científica. Desde la filosofía y la historia de la Ciencia ya se abandonó [Popper, (1962) primera edición de 1934, citado por Chalmers, 1984] la concepción inductivista de la ciencia para explicar cómo se construyen los conocimientos científicos (Bunge, 1978).

No consideramos necesario presentar aquí con detalle las distintas concepciones de filósofos y epistemólogos de la ciencia contemporáneos (Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos, Giere, Chalmers, ...) que muestran que la producción científica no puede ceñirse a un método traducible a una serie de pasos cuyo seguimiento produce conocimiento verdadero: la epistemología de la ciencia no tiene sólo un componente metodológico, sino también un componente interpretativo (Monk y Osborne, 1997) que hace que, aunque a nivel fundamental exista un acuerdo sobre el componente metodológico (planteamiento de

problemas, formulación de hipótesis que puedan ser sometidas a prueba, elaboración de diseños experimentales fiables, métodos de replicación y análisis de resultados, ...), no baste con "la sintaxis" (las reglas para conocer), sino que sea necesaria "la semántica" (el significado del conocer). No obstante, nuestra propuesta de organizar la enseñanza en torno a problemas, con una estructura, pues, problematizada, hipotético-deductiva, hace necesario que nos planteemos cómo se deberían introducir los conceptos, modelos y "desarrollos teóricos" desde este punto de vista didáctico y que miremos a la historia, filosofía y epistemología de la ciencia para inspirarnos (en la medida de lo deseable y posible para enseñar y aprender) en las formas en que son tratados los mismos aspectos.

CONCEPTOS, HIPÓTESIS Y TEORÍAS

Ante una situación problemática de interés, los científicos necesitan introducir "orden" en las sensaciones sensoriales, es decir, seleccionarlas, precisarlas y cuantificarlas. Como señala Holton (1976, pp. 306-307), la fase inicial, de reconocimiento de la existencia de un problema, suele estar conectada con una intuición del tipo de solución que se espera (de una manera especulativa y anticipatoria) que no sólo puede sugerir nuevos e interesantes problemas (posiblemente más enfocados) e hipótesis de prueba para la solución, sino también dar lugar a conceptos específicos con los cuales analizar la situación problemática (p. 307).

Hay otros campos de conocimiento, u otros enfoques "del conocer", en los que se plantean problemas y se trata de avanzar en ellos de una manera más o menos tentativa. Lo que caracteriza a la ciencia es que el proceso de invención de hipótesis y su posterior contrastación se hace de manera que se aúnan creatividad y el mayor rigor posible, sometiendo las ideas a la confrontación con el mundo de los objetos de una manera cuantitativa. Esto es posible porque buena parte de las intuiciones sobre los problemas se concretan con un significado preciso y cuantitativo (expresando cómo se podrían obtener valores cuantitativos de las mismas: definiéndolas operacionalmente). Por supuesto, nada asegura que, en principio, los conceptos inventados para analizar y avanzar en los problemas concretos vayan a ser fructíferos: todos son sujetos a criterios de selección

contemporánea e histórica. La práctica totalidad de conceptos que se enseñan en los niveles secundario y universitario, tales como rapidez, aceleración, trabajo, energía libre de Gibbs, elemento, potencial químico, etc., son invenciones que han permitido avanzar en la solución de problemas –inicialmente en un campo limitado- y es, precisamente su utilidad y el hecho de que aparezcan en muchos otros problemas o campos diferentes de aquéllos en que fueron introducidos lo que hace que los consideremos “conceptos importantes”.

Por supuesto, muchos conceptos no superan estos criterios y desaparecen. Pensemos, por ejemplo, en la magnitud $x = \Delta v / \Delta e$ (“cambio de rapidez por unidad de longitud sobre la trayectoria”), cuyo significado podría ser tan claro como el de aceleración. Fue sin embargo este último concepto (imposible de ser medido directamente cuando se inventó) el que permitió avanzar a Galileo en el estudio del movimiento de caída de los cuerpos. Otros conceptos experimentan cambios o ampliaciones en su significado inicial al ser utilizados dentro de ideas o hipótesis que se van aplicando a nuevos problemas y/o unificando campos diversos a lo largo de la historia. Es el caso del “trabajo” (y de “fuerza”, “energía”, “elemento”, ...), que se introdujo inicialmente en el estudio de las máquinas simples (como producto del peso de un objeto por la altura a la que era elevado por la máquina); posteriormente sirvió para comparar rendimientos de máquinas térmicas, como forma de cambiar la energía de un sistema en Termodinámica, y que ha sido ampliado, de manera, que actualmente hablamos (y calculamos) de “trabajo generalizado”.

Es importante resaltar que aunque los conceptos son invenciones que permiten clarificar, precisar y cuantificar los problemas, desde el punto de vista lógico pueden ser considerados como definiciones que establecen relaciones entre magnitudes, y sólo pueden ponerse a prueba mediante su incorporación (a través de la imaginación, la lógica y las matemáticas) a enunciados o hipótesis que puedan ser sujetos a contrastación experimental (bien directamente o por sus consecuencias y predicciones). Así podemos someter a prueba la hipótesis de que el movimiento de caída libre de los cuerpos es uniformemente acelerado (y esta hipótesis no es una definición) o que la fuerza es la causa de la aceleración

($F \propto a$) (que no es una definición sino una hipótesis) o la ley (antes hipótesis) de las proporciones múltiples.

Así pues, los conceptos permiten pasar de los objetos reales, del mundo experiencial, a "objetos teóricos" o "mentales" y viceversa (Osborne, 1996): permiten formular hipótesis [suposiciones que van mucho más allá de una síntesis inductiva de datos o una mera descripción de situaciones observables (Bunge, 1978)] o teorías (sistemas de hipótesis interrelacionadas lógicamente y deductivamente sobre un campo determinado) explicativas sobre los problemas, que pueden ser puestas a prueba frente al mundo real, a partir de sus deducciones sobre cuestiones de hecho, su coherencia interna, su universalidad y mediante la predicción de nuevos hechos u objetos y utensilios que no existían antes en la Naturaleza (láser, nuevos materiales, TV, ingeniería genética, ...).

Por supuesto, según la naturaleza de la hipótesis el tipo de contrastación varía (no es lo mismo formular hipótesis sobre el estiramiento macroscópico de un muelle que sobre cómo deben estar formadas las sustancias para que ocurran cambios químicos). En general, las hipótesis más importantes, las "fundamentales" por su mayor universalidad (Chalmers, 1992), no suelen ser contrastables directamente, sino a través de consecuencias derivadas deductivamente para situaciones concretas y mediante la elaboración de procesos y objetos basados en ellas.

Creemos necesario, aunque sea brevemente, considerar la naturaleza ontológica de las teorías científicas. El hecho de que las teorías científicas hayan cambiado, en algunos casos sustancialmente, a lo largo de la historia plantea un problema para quienes afirman que las teorías científicas tratan sobre la realidad. Esto ha hecho que se extienda –incluso en los textos de secundaria y universitarios– una visión instrumentalista de las teorías científicas. Para el instrumentalismo (que afirma que los modelos y teorías no necesitan ser verdaderos ni probables, si suministran un cálculo consistente con las observaciones es suficiente) el problema es que esas ficciones teóricas tienen el "desafortunado" hábito de predecir objetos que, como hemos señalado, debido a los avances en la tecnología y la instrumentación pueden crecientemente ser

vistos o sentidos (anillo de benceno; agujeros negros, ...), de manera que muchas teorías se convierten con el avance científico/tecnológico en "hechos". Incluso el producir nuevos materiales "de diseño" con propiedades que nunca se han dado antes en la Naturaleza, basándonos en nuestras teorías sobre la constitución de la materia es un problema para el instrumentalismo y el idealismo.

Por otro lado, el hecho de que no exista un "método algoritmizado y universal que *todos* los científicos que han elaborado teorías hayan seguido en *todos* sus términos", es decir "una serie de fases que deban seguirse estrictamente para producir teorías verdaderas", ya que como señala Feyerabend, los científicos siempre se saltan alguna o algunas fases, ha dado pie a una visión relativista o sociologista de la ciencia, que pone especial énfasis en el proceso de "negociación" en la comunidad científica para aceptar o no teorías. Desde el punto de vista didáctico esta posición puede identificarse con un énfasis por considerar el aprendizaje de conocimientos científicos como "aprender a hablar como los científicos", la enseñanza buscaría la inmersión de los alumnos en un nuevo lenguaje, en una "forma de hablar".

Es verdad que en la generación de conocimientos científicos pueden distinguirse una fase de "ciencia como creación" y una fase de "ciencia como institución" (Holton, 1976 y 2001). Y es deseable que en la primera no se (auto) impongan límites a la imaginación de los científicos. En esta fase, cualquier intento de seriación o clasificación de acciones mentales sería contradicho por numerosos ejemplos históricos. Pero la fase de ciencia-como-institución es tan genuina y característica del trabajo científico como la de creación: si faltara alguna de las dos no habría habido evolución histórica en el conocimiento científico.

No obstante, el que el conocimiento científico no sea fruto de individuos aislados y el que en el proceso de producción y justificación, el debate dentro del grupo de investigación y la aceptación por la "comunidad de investigadores en el mismo campo" jueguen un papel esencial, no justifica afirmaciones que inducen al relativismo posmodernista, al considerar la ciencia como "una forma más de conocimiento, igual de respetable y fiable que otras" (¿cuáles?) de conocer el mundo, una especie de convención. Incluso, en algunos casos, da la impresión de

que *lo importante* es el lenguaje, “la forma de hablar” de los científicos, el introducirse en un género gramatical distinto (Ogborn et al., 1996; Locke, 1997; Lemke, 1997; Patterson, 2001). Como indica Jiménez Aleixandre (1998), en una época donde el 75 % de la población entre 15 y 29 años cree en los horóscopos y la astrología y en el que las personas que realizan actividades “adivinatorias” cuentan con espacios permanentes en los medios de comunicación, parece urgente incorporar el debate explícito sobre lo que es científico y lo que no en las clases de ciencias. Y, añadiríamos, combatir las interpretaciones relativistas de algunos sociólogos de la ciencia.

Para ello, no es necesario ser positivista, sino “realista moderado” (Harrè, 1986; Longbottom y Butler, 1999), es decir, admitir que no todos los acuerdos entre la comunidad científica tienen una explicación sociológica. Ni las teorías científicas son construcciones directas del mundo a partir de observaciones objetivas, ni simplemente construcciones sociales sin relación con la realidad, con el mundo material. Por supuesto que la ciencia realista se desarrolla y está sujeta a influencias socioculturales⁷ (¿qué actividad humana no lo está?) pero también es juzgada por el comportamiento del mundo real. **La naturaleza no es una esponja que puede adoptar cualquier forma que acordemos.** Los científicos actúan sobre el mundo, intervienen, manipulan y miden. Su discurso y lenguaje están limitados no por su condicionamiento imaginativo o cultural, sino por la evidencia que obtienen de dichas acciones sobre el mundo. Podemos pensar lo que queramos, pero no podemos hacer lo que queramos: la naturaleza siempre constriñe nuestro discurso (Osborne, 1996).

El que el conocimiento científico sea falible (algo consustancial con la existencia de objetos reales y objetos teóricos en el proceso de construcción de

⁷ Estamos de acuerdo en que uno de los objetivos de la educación científica debe ser favorecer que los ciudadanos sean conscientes de que la actividad científica no es aséptica y neutral: los problemas que se investigan, el desarrollo de unas u otras tecnologías, son influidos por valores culturales (comerciales, militares, solidarios,...), tienen gran influencia en nuestras vidas y en nuestro planeta, y los ciudadanos deberían saber hacer preguntas radicales sobre estos aspectos. No obstante, es imprescindible favorecer el “distanciamiento intelectual” necesario para hacer estas preguntas, sin caer en visiones irracionales o histéricas sobre la ciencia. La ciencia es lo mejor de que disponemos los humanos para producir conocimiento fiable y racional sobre el mundo natural.

conocimientos científicos) no significa que necesariamente sea erróneo: en el desarrollo de esa "negociación colectiva entre pensamiento racional y mundo natural", durante siglos, se ha avanzado y, en algunos campos, no existen dudas razonables sobre la existencia de objetos, interacciones o mecanismos. En este sentido, es imprescindible distinguir entre aspectos fundamentales de las ciencias "maduras" (como átomos, electrón, carga eléctrica, célula, genes,..) y aspectos fronterizos (en los que la propia comunidad científica es consciente de que no se dispone de suficiente evidencia), tecnológicos o políticos (donde existen distintas soluciones que afectan a la vida de manera distinta, intereses económicos,..., y donde todo ciudadano debería poder implicarse de un modo racional). Es esta característica de la ciencia, mejor, de "la actividad científica" (Izquierdo, 2000), lo que hace tan valiosa a la educación científica para entrenar en la toma racional de decisiones en base a la evidencia y la sabiduría.

Así pues, la elaboración de teorías científicas reúne formas de pensamiento y acción a la vez creativas (problematización de situaciones, planteamientos cualitativos, invención de conceptos y formulación de hipótesis, diseño de estrategias de contrastación, ...) y rigurosas (precisión y control de condiciones, realización de experimentos, fiabilidad de la medición, análisis de resultados, ...), junto con criterios de validez tales como **coherencia** (las nuevas concepciones no deben entrar en contradicción con otras ideas aceptadas, si lo hacen queda un problema pendiente), **unidad o universalidad** (el menor número de ideas debe servir para explicar el mayor número de situaciones: la Historia de la Ciencia puede contemplarse, en efecto, como una sucesión, no lineal, de avances en que un campo cada vez más amplio de fenómenos se entiende con un número menor de principios independientes, es decir, como la elaboración de grandes síntesis), **capacidad predictiva e invención de prototipos** (las nuevas concepciones deben explicar fenómenos que otras no podían y servir para hacer predicciones de nuevos fenómenos, problemas, o fabricar objetos que antes no existían, ..).

Para Chalmers (1992) los criterios que permiten hablar de avance en la ciencia se basan en su finalidad: la búsqueda de explicaciones cada vez más universales y la mejora continua.

Se puede considerar que el objetivo de la ciencia es la explicación de los fenómenos naturales mediante la construcción de modelos y teorías lo más universales posible. Como dijo Einstein, “*los científicos son personas con una pasión por explicar*” (citado en Solomon et al., 1993). Generalmente, la elaboración de explicaciones implica la modelización del mundo natural. Como señala Giere (citado en Gilbert et al., 1998_a), la interdependencia entre modelos y explicaciones se manifiesta de una forma evidente:

“Explicar es una actividad humana cuya práctica antecede al surgimiento de la ciencia moderna... lo que es distintivo de las ‘explicaciones científicas’ es que utilizan modelos desarrollados por las ciencias.”

Por tanto, el siguiente apartado estará dedicado a intentar precisar qué son los modelos científicos y a estudiar su evolución.

MODELO

Al igual que le ocurre al término explicación, el término “modelo” es polisémico. Bachelard (citado en Arcá y Guidoni, 1989) daba los siguientes significados al término modelo: prototipo de una clase donde se agrupan objetos, hechos, procesos o situaciones con características similares al prototipo. Estructura hipotética de la realidad, inaccesible a la experiencia directa. Esquematización construida con una multiplicidad de datos de la experiencia (de la realidad) que proporciona una abstracción satisfactoria de cómo funcionan las cosas. El modelo es una abstracción de una realidad fenomenológica y sirve de intermediario entre dicha realidad y un determinado campo teórico.

De todo lo anterior destacamos que un modelo es una esquematización abstracta de la realidad, entendiendo que esta realidad puede pertenecer al mundo de los fenómenos o al de los conceptos. Esta esquematización abstracta se hace utilizando nuestros conceptos e hipótesis, lo que permite aplicar la lógica deductiva y obtener predicciones cuantitativas que pueden ser sometidas a pruebas empíricas. Esto hace de los modelos poderosos instrumentos conceptuales, que permiten a los científicos alcanzar y representar múltiples relaciones y estructuras que se presentan en la realidad, que, dada su

complejidad, no son comprensibles y manejables en muchas ocasiones fuera del modelo.

La naturaleza del papel jugado por la modelización y los modelos en la ciencia es objeto de debate. Según Justi y Gilbert (2000) se acepta que tienen un papel de intermediario entre la teoría científica y el mundo de la experiencia (objetos y fenómenos), aunque la naturaleza de este papel depende de la interpretación que se de al significado de teoría, modelo y mundo de la experiencia.

Bunge (1978), señala que aunque frecuentemente se llama modelos a las teorías, es más correcto decir que la teoría (definida como un

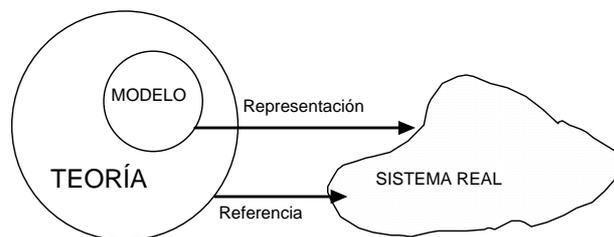


Figura.1. Relación entre teoría, modelo y el mundo de los fenómenos (Bunge, 1978)

cuerpo de conocimiento) incluye a los modelos y que estos modelos son una representación idealizada de una clase de objetos reales. Así, una teoría, tomada en su totalidad se refiere a un sistema - o, más bien, a una clase de sistemas-, y el modelo supuesto por la teoría representa a ese sistema. Dicho con otras palabras: las teorías científicas tratan de modelos ideales que se supone representan, de modo más o menos simbólico y con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas reales, y jamás todos sus aspectos

En parecidos términos se expresa Tiberghien (1994) al afirmar que cuando los científicos interpretan y predicen los hechos experimentales, no aplican directamente una teoría a la situación sino que, usando la teoría elegida, construyen un modelo de la situación experimental. Por tanto, el papel del modelo es siempre relacional o de intermediario. Desde esta perspectiva, se considera que la interpretación y predicción implican un proceso de modelización que consiste en tres niveles: teoría, modelo y campo experimental de referencia (ejemplos: modelo de gas ideal; modelo de Bohr; modelo ondulatorio de la luz; modelo circular del sistema Sol/Tierra (Aristarco, Copérnico y Galileo)... pero también

modelo del ojo como una esfera hueca con una lente, de un cuerpo que desciende por un plano inclinado como un punto que desliza sin rodar, etc. ..).

Este papel intermediario, entre la teoría y lo real, del modelo permite, desde nuestro punto de vista, considerar la resolución de problemas de papel y lápiz con la orientación descrita en el apartado anterior como una forma de puesta a prueba de "la teoría", justo en la medida en que se trata de enfrentarnos a situaciones reales que habremos de modelizar para poder utilizar la teoría y realizar predicciones cuantitativas que pueden ser confrontadas con la realidad. Así, situaciones del tipo "¿cuánto tiempo tardará un tren en atravesar un túnel?" o "¿con qué velocidad máxima podrá tomar un coche una curva sin derrapar?", pueden considerarse situaciones de "puesta a prueba" de conceptos y teorías (no obstante, al igual que con los trabajos prácticos, es necesario salir al paso de que una teoría puede ser falsada mediante un problema de "papel y lápiz", y hacer ver que dichos problemas han sido abordados con éxito por equipos de científicos profesionales).

Más aún, para poder poner a prueba las teorías en situaciones reales es necesario "poner a punto" su capacidad predictiva, lo que suele hacerse utilizando las leyes o ecuaciones fundamentales en situaciones muy sencillas e idealizadas con la finalidad de familiarizarse con ellas. Así, las típicas y necesarias actividades tales como "se deja caer un objeto desde 20 m de altura, escribe la ecuación de su movimiento" o "hallar el trabajo de la fuerza peso cuando un bloque de 20 kg desciende 5 m por un plano inclinado de 30° " pueden ser consideradas como actividades de "puesta a punto de la capacidad predictiva de conceptos y teorías". Una puesta a punto que –si es solamente un paso hacia la resolución de problemas⁸- facilita que ante un verdadero problema la atención pueda centrarse sobre aspectos y decisiones importantes y no sobre aspectos básicos o triviales

⁸ Por supuesto, inicialmente las "actividades de puesta a punto" no serán "meros ejercicios" para los alumnos y requerirán reflexión, pero es necesario que adquieran un determinado umbral de familiarización con los conceptos y leyes, para que la "memoria de trabajo" no quede bloqueada por estos aspectos cuando se enfrenten a un verdadero problema. Esta puesta a punto de la capacidad predictiva debe realizarse prestando especial atención en evitar la "fijación funcional" característica del aprendizaje mediante "problemas-tipo"

(cuestiones de signos, sistema de referencia, pasar de la ecuación química ajustada a las proporciones en moles, etc.).

En definitiva, la propuesta para la enseñanza de conceptos, modelos y teorías engloba a los trabajos prácticos, las actividades de "puesta a punto" y a la resolución de problemas, y requiere una nueva organización de la estructura de los temas y cursos en torno a los problemas fundamentales de la ciencia.

2.3. La organización de los temas y los cursos dentro del modelo de enseñanza por investigación dirigida

Desde nuestra propuesta, por tanto, para organizar la estructura de los temas y los cursos, es necesario identificar algunos de los problemas que están en el origen de las teorías que queremos que pasen a formar parte de los conocimientos de nuestros alumnos, discutir la relevancia de los mismos y planificar una estrategia que permita avanzar en la solución a los problemas planteados, en un ambiente hipotético deductivo que suministre oportunidades para la apropiación de la epistemología científica. Realizar esta tarea requiere que el profesor (mucho mejor, el equipo de profesores/investigadores) disponga de un conocimiento profundo de la materia a tratar, tal como señalaba Gil (1991), entendiéndolo por ello un conocimiento problematizado, consciente de cuáles fueron los problemas que están en el origen de los conocimientos en un determinado campo, cómo se ha llegado hasta ahí, cuáles fueron las dificultades que hubo que superar, las ideas que permitieron avanzar, el contexto social y las repercusiones tecnológicas que tuvieron y tienen los estudios en dicho campo, etc.

En general, adquirir dicha formación exige un estudio histórico y epistemológico del campo a tratar, pero –y esto es fundamental– realizado con *"intencionalidad didáctica"*, para que su estudio sea útil y factible para los estudiantes implicados. La generación de estas preguntas estructurantes, una de las tareas más atractivas con la que un equipo de profesores puede enfrentarse, requiere profundizar en la historia y la epistemología de la propia ciencia, tratando de responder a las cuestiones ¿qué puentes hubo que levantar, que barreras superar, para establecer una determinada concepción universal?, ¿qué obstáculos

pueden tener nuestros alumnos? Sabemos que no es una tarea fácil, que sólo se puede llevar a cabo con grupos de trabajo, por ello hemos dirigido nuestra investigación a la confección de temas con estas características, tal como se mostrará en el capítulo siguiente.

Este estudio está dirigido, en definitiva, al diseño de una estructura del curso que permita a los estudiantes, con el apoyo de profesor, enfrentarse a situaciones problemáticas de interés, poniendo en juego buena parte de los procesos de producción y validación de los conocimientos científicos. Más concretamente, ello supone tener en cuenta las siguientes características (Verdú, Martínez Torregrosa y Gil, 2001):

Cuadro 2. 2. Características de la estructura de los cursos y los temas en una enseñanza (problematizada) por investigación dirigida

1. **Plantear**, en el inicio del curso y de los grandes bloques o temas que lo compongan, **situaciones problemáticas** que –inspirándose en las que desde el punto de vista histórico y/o epistemológico, están en el origen de los conocimientos implicados- sirvan de punto de partida para el trabajo de los estudiantes. Por supuesto, debe prestarse atención explícita a que los alumnos se apropien del o los problemas, a que tomen conciencia de su interés, como condición necesaria para su implicación en la tarea.
2. **Diseñar la secuenciación de los temas del curso** o de cada gran síntesis del mismo, como una posible estrategia para avanzar en la solución a las grandes preguntas iniciales. Esto da lugar a un hilo conductor en el que cada tema se convierte en un problema más concreto cuya solución permitirá avanzar en el problema inicial, y que, al mismo tiempo, puede generar nuevos problemas, incrementándose así las relaciones entre los distintos temas y la coherencia del curso.
3. **Organizar el índice de cada uno de los temas/problema de forma que responda igualmente a una posible estrategia para avanzar en su solución**, es decir, a un “plan de investigación”. En este sentido, la estructura o secuencia de apartados del tema debe estar ligada intencional y lógicamente con la problematización inicial. La estructura de los temas no está guiada, por tanto, como es habitual, por los conceptos fundamentales, sino por un intento de plantear y avanzar en problemas fundamentales. De este modo, los conceptos son introducidos funcionalmente como parte del proceso de tratamiento de los problemas planteados y de unificación de campos inicialmente inconexos. Si el

conocimiento científico es fruto de un intento de responder preguntas, ¿por qué pretender que los alumnos aprendan respuestas sin conocer las preguntas a las que responden? (Otero 1985).

4. En este contexto de resolución de problemas, **los conceptos y modelos se introducen, por alumnos y profesor, como tentativas, como hipótesis fundadas**, que deben ser puestas a prueba, tanto a través de su capacidad predictiva en situaciones de laboratorio como en el abordaje de situaciones problemáticas abiertas concretas (problemas de lápiz y papel), la elaboración de utensilios o prototipos, la identificación-predicción de nuevos hechos y problemas; o mediante la coherencia (con la globalidad de los conocimientos ya establecidos por investigaciones precedentes) y universalidad (capacidad para unir campos separados). La realización de ejercicios, los trabajos prácticos, y la resolución de problemas son situaciones de puesta a prueba de los conceptos, hipótesis y modelos inventados (Martínez Torregrosa, Doménech y Verdú, 1993; Gil, Furió et al, 1999).
5. **La evaluación es concebida como un instrumento de ayuda para el avance en la resolución de los problemas planteados** y de "recapitulación en la empresa científica". Este papel se ve facilitado por la identificación de ideas o conocimientos que suponen/supusieron pasos en la solución a los problemas planteados y de los obstáculos que pueden dificultar/dificultan dichos pasos o "metas parciales". Dicha identificación permite establecer un posible itinerario de aprendizaje y otro de posibles obstáculos asociados, y planificar las actividades de evaluación/aprendizaje para superar los obstáculos e impulsar el aprendizaje.

La estructura problematizada favorece, de modo natural, la realización de recapitulaciones periódicas (recapitulaciones problematizadas) sobre lo que se ha avanzado en la solución al problema planteado, los obstáculos superados y lo que queda por hacer, prestando así especial atención a la regulación y orientación de los alumnos en el desarrollo de la investigación, y la elaboración de una recapitulación final del trabajo realizado ("recapitulación problematizada" con características similares a un informe científico) y otras actividades de síntesis (mapas conceptuales, cuadros comparativos ...).

6. Esta estructura "gruesa", debe ser concretada en una secuencia de actividades, en un plan de investigación dirigida o programa-guía (Furió y Gil, 1978), para su propuesta en el aula a los alumnos (organizados en pequeños grupos) que, con tiempo para pensar argumentar y hacer, junto con el profesor, avanzan en el problema planteado, en un ambiente que favorezca simultáneamente la implicación afectiva y la racionalidad científica.

Todo ello constituye una forma de trabajo en el aula que favorece la explicitación de las propias ideas y su confrontación con las de otros, en un ambiente hipotético-deductivo rico en episodios de argumentación y justificación, tan importantes para el aprendizaje de conocimientos científicos (Newton, Driver y Osborne, 1999; Driver, Newton y Osborne, 2000). Se pretende así, en definitiva, crear un ambiente que favorezca simultáneamente la implicación afectiva y la racionalidad científica de todos los implicados (profesor y alumnos) en la resolución de los problemas. Por supuesto, ello exige una cuidadosa planificación de la tarea por el profesor, mediante programas concretos de investigación dirigida (programas de actividades debidamente engarzadas) y dejar tiempo en el aula para que los alumnos piensen, argumenten y refuten.

Los **gráficos 1** y **2** intentan representar el proceso de toma de decisiones para elaborar la estructura problematizada de un tema y de un curso o fragmento coherente del mismo. Como hemos dicho, tomar dichas decisiones exige que el profesor/investigador o, mucho mejor, el equipo de profesores/ investigadores realicen un estudio histórico/epistemológico con "intencionalidad didáctica" del campo de conocimientos a tratar. En el **Cuadro 2.3** se recogen las preguntas que guían dicho estudio.

GRÁFICO 1. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN TEMA DENTRO DE UNA GRAN SÍNTESIS Y PREGUNTAS QUE SE PLANTEAN

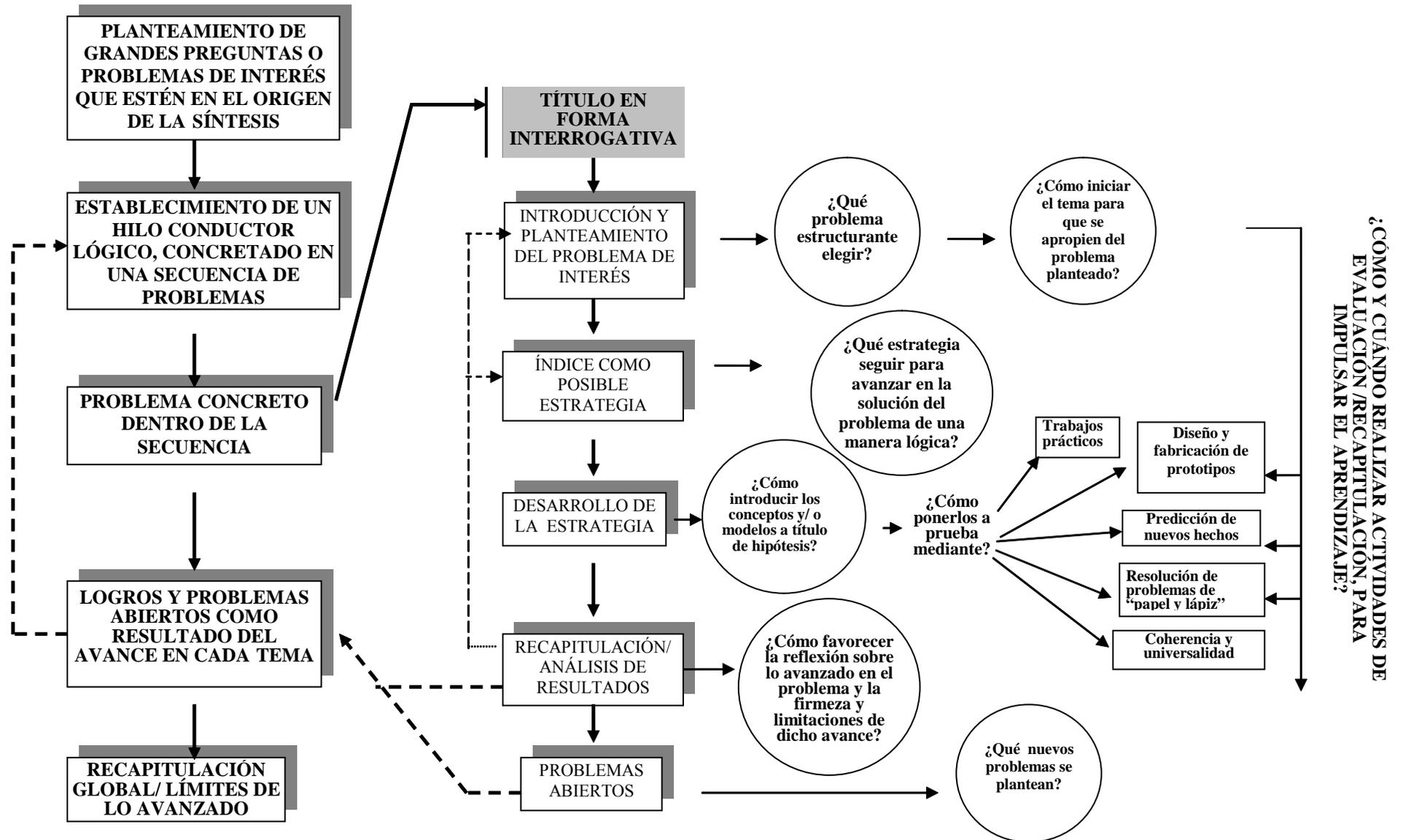
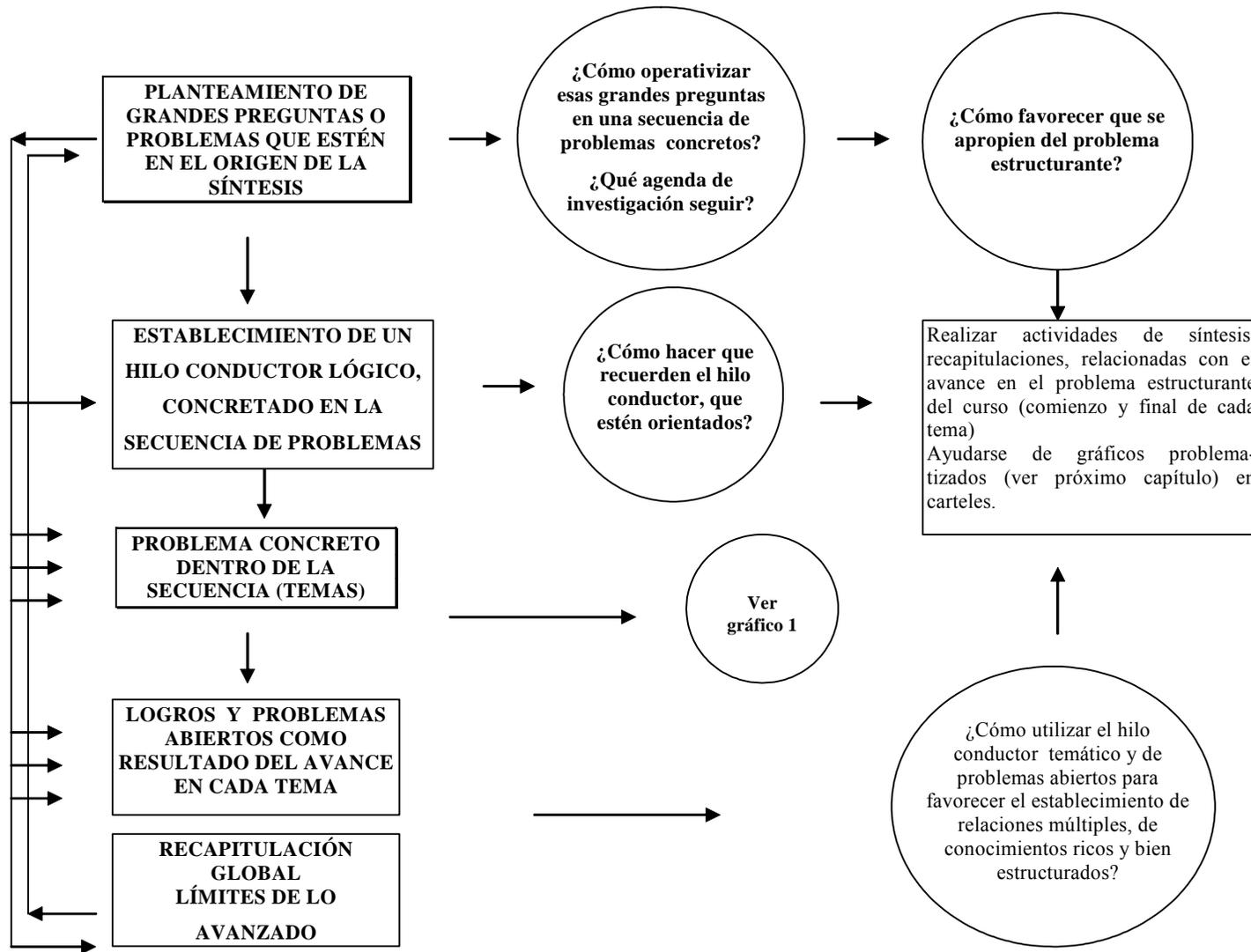


GRÁFICO 2. TOMA DE DECISIONES PARA PLANIFICAR LA ESTRUCTURA DE UNA GRAN SÍNTESIS (UN CURSO O GRAN FRAGMENTO DEL MISMO)



Cuadro 2.3. Preguntas que guían el estudio histórico y epistemológico para adquirir un conocimiento problematizado de la materia a tratar, con una finalidad didáctica, que permita tomar decisiones sobre los aspectos señalados en los gráficos 1 y 2

SOBRE EL PROBLEMA ESTRUCTURANTE Y LO QUE SE DEBE PRETENDER CONSEGUIR

- 1. ¿Qué problemas están en el origen de las teorías que deseamos que pasen a formar parte del bagaje de nuestros alumnos? ¿Qué nos gustaría que nuestros alumnos hubieran aprendido –globalmente- sobre este problema?**

Esto debe permitir identificar el **objetivo/ clave** –aquello que nos gustaría que los alumnos supieran como fruto de la enseñanza en el campo seleccionado- y posibles problemas “estructurantes”. El objetivo/ clave a conseguir debe tener suficiente poder explicativo para que tenga relevancia su estudio.

- 2. ¿Cuál o cuáles serían más adecuados para iniciar el proceso de investigación?**

No tiene por qué ser necesariamente el mismo que fue históricamente (incluso, a veces, puede no ser deseable). La selección está orientada por la intención de que sea adecuado para organizar el plan de investigación y la actividad del aula en torno a él, en el curso de que se trate. La respuesta a esta cuestión debe ser considerada una hipótesis que sólo será aceptada tras el seguimiento de la puesta en práctica en el aula.

SOBRE METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS PREVISIBLES PARA ALCANZARLAS

- 3. ¿Qué ideas o conocimientos suponen/ supusieron avances, pasos necesarios, para solucionar el problema, para alcanzar el objetivo/ clave? ¿Cuáles son/ fueron los obstáculos más importantes para conseguir dichas ideas?**

Este estudio debe permitir identificar objetivos más concretos, o **metas parciales**, y posibles **obstáculos asociados** –a los que necesariamente habrá que prestar atención para avanzar en el problema-. Se trata de seleccionar aquéllos conocimientos que necesariamente deben ser adquiridos si se desea conseguir el objetivo/ clave, la solución al problema estructurante. Se trata, también, de tomar conciencia de las dificultades con que se encontraron equipos de científicos y de las ideas, pruebas, argumentos y contra-argumentos, condicionamientos técnicos y sociales, que hicieron posible, u obstaculizaron, el avance, etc.

- 4. ¿Qué ideas, qué razonamientos, pueden tener los alumnos sobre los aspectos anteriores que supongan obstáculos para el aprendizaje y que, por tanto, deben ser tomados en consideración? ¿Qué otros aspectos necesitan saber y saber hacer para que el avance sea posible?**

Aunque el estudio histórico y epistemológico permite proponer “metas parciales”, no todos los obstáculos de aprendizaje son históricos. La confirmación de en qué medida los aspectos sobre los que se ha puesto énfasis son relevantes desde el punto de vista didáctico, y cuáles son las dificultades que van a tener los alumnos para conseguirlos, es una cuestión de naturaleza empírica que debe ser objeto de investigación. Es necesario, pues, conocer las ideas y razonamientos de los alumnos sobre dichas “metas parciales” para planificar adecuadamente la secuencia de actividades (para asegurarse de suministrar oportunidades para que dichas ideas y razonamientos sean tratados).

Cuadro2.3. (Continuación) Preguntas que guían el estudio histórico y epistemológico para adquirir un conocimiento problematizado de la materia a tratar, con una finalidad didáctica, que permita tomar decisiones sobre los aspectos señalados en los gráficos 1 y 2

Con este fin, es necesaria la realización de investigaciones empíricas, antes de poner en práctica el tema, para averiguar las ideas y razonamientos de los alumnos **sobre las metas parciales**, identificando posibles obstáculos. Esta investigación está orientada por los hallazgos de la investigación didáctica sobre ideas y razonamientos espontáneos de los alumnos y por la previsible semejanza entre las barreras históricas más importantes y las ideas espontáneas más arraigadas [probada reiteradamente en numerosos campos, Wandersee, Mintzes y Novak (1994)]. En ocasiones, el conocimiento “práctico” del equipo de profesores y su conocimiento sobre la literatura didáctica hace parecer innecesaria la realización de este estudio empírico. No obstante, tiene la ventaja de unir la investigación sobre concepciones y razonamientos espontáneos de los alumnos al desarrollo de secuencias de instrucción, lo que evita estudios desligados del aula y proporciona, además, un conocimiento muy útil para elaborar la “**estructura fina**” del tema: actividades concretas (de desarrollo y/o evaluación).

SOBRE QUÉ ESTRATEGIA O ÍNDICE SEGUIR Y CÓMO FAVORECER LA REVISIÓN DE LO AVANZADO AL DESARROLLARLA

5. **¿Qué estrategia (que se convertirá en el índice del tema) conviene proponer para avanzar en la solución a los problemas iniciales? ¿Cómo favorecer que los alumnos estén orientados?**

Es muy importante que el equipo de profesores/ investigadores se autoimponga planificar una estrategia para avanzar en el problema estructurante (que se convertirá en el ÍNDICE del tema o en el HILO CONDUCTOR del curso) que responda a una lógica de investigación, a lo que sería racional hacer para avanzar en un problema que es objeto de investigación. Claro está que se trata de un campo conocido para ellos y que conocen los obstáculos y las llaves para superarlos (¡por eso pueden ayudar a que los alumnos aprendan!), no obstante deben procurar la creación de un ambiente genuinamente hipotético-deductivo, una estrategia ligada intencional y lógicamente al problema planteado. Se deben prever **recapitulaciones** escritas (¿cuál era el problema planteado? ¿cómo planificamos tratar de solucionarlo? ¿qué hemos avanzado? y ¿qué hemos tenido que superar para llegar hasta aquí? ¿qué vamos a hacer ahora?) asociándolas – al menos- a la finalización o comienzo de los grandes apartados de la estrategia.

SOBRE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES CONCRETAS Y EL SISTEMA DE EVALUACIÓN

6. **¿Qué plan concreto de investigación –programa-guía- proponer a los alumnos para desarrollar la estrategia propuesta? ¿Cómo planificar la evaluación para que se convierta en un instrumento que oriente e impulse la buena marcha de la investigación?**

Dicho plan (la secuencia de actividades concretas que se van a proponer a los alumnos en el aula) y el sistema de evaluación concebido para impulsar el aprendizaje, constituyen la “estructura fina” del tema, y deberán ser considerados como una hipótesis hasta probar que con ellos se suministran las oportunidades adecuadas para aprender conocimientos científicos, poner en práctica la epistemología científica (dentro de lo posible en el contexto escolar) y aprender sobre la naturaleza de la ciencia [aspectos básicos de la “alfabetización científica” (Hodson, 1992)].

Tras el análisis realizado, es conveniente resaltar la estrecha relación que habrá entre el problema estructurante y el objetivo/ clave por un lado y entre la estrategia o índice, las metas parciales y las recapitulaciones por otro. Consideramos, también, conveniente pensar en estos elementos como la "estructura gruesa o de paso largo" de la planificación. La secuencia concreta de actividades en cada apartado y el sistema de evaluación (excepto las recapitulaciones) podría considerarse la "estructura fina o de paso corto" de la planificación. Lógicamente debe abordarse antes la estructura gruesa que la fina, ya que un cambio en una decisión sobre la estructura gruesa afecta mucho más que un cambio en la estructura fina. No obstante esto no significa que en el proceso real de elaboración deba esperarse a tener una parte perfectamente acabada para poder empezar la otra.

Una vez planteado de una manera sistemática el proceso de planificación de la estructura problematizada de temas y cursos (lo que no significa que consista en una secuencia de fases en la que no se pasa a una nueva fase sin tener perfectamente acabada la anterior; ni que no haya lugar para la creatividad), en el capítulo siguiente mostraremos el fruto de esta forma de proceder.

RESULTADOS QUE MUESTRAN QUE ES POSIBLE ORGANIZAR LOS TEMAS Y CURSOS CON UNA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA

En los capítulos anteriores hemos tratado las cuestiones de por qué y cómo organizar la enseñanza de la Física y la Química en torno a problemas fundamentales (en vez de en torno a conceptos fundamentales), y hemos propuesto una estructura característica para los temas así como un proceso de planificación para tomar decisiones que permiten concretar, según dicha estructura, una secuencia de actividades o programa-guía para el aula.

En este capítulo deseamos aportar evidencia de que es factible y fructífero dicho proceso de planificación. Es decir, que es posible elaborar temas y cursos con una estructura problematizada, donde se integran teoría, prácticas, problemas y evaluación de un modo coherente –dentro de lo posible para enseñar y aprender en un determinado nivel- con el trabajo científico.

Es necesario advertir que dichas estructuras problematizadas y las secuencias de actividades en que se concretan, deben ser consideradas como hipótesis de trabajo que han de someterse a contrastación en la práctica del aula: viendo en qué medida generan oportunidades para aprender mejor los conceptos implicados, para enfrentarse con mayores probabilidades de éxito a verdaderos problemas, y, especialmente, si despiertan actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias. A este tipo de cuestiones destinaremos la segunda parte de este trabajo. Pero antes, deseamos mostrar que el proceso de planificación puede sistematizarse y que constituye una alternativa coherente a otras formas de planificación.

El que hablemos de “sistematización” del proceso de planificación no debe entenderse como que el proceso que hemos presentado en los **gráficos 1 y 2** y en los **cuadros 2.2 y 2.3** al final del capítulo anterior debe seguirse de un modo

rígidamente secuenciado, ni que siguiendo los pasos se obtienen programas-guía a “prueba de dudas”. Al igual que dijimos al hablar de la invención de conceptos, modelos y teorías, podemos distinguir en este proceso de planificación una “fase creativa” (en la que quien realiza el estudio, avanza de un modo tentativo/imaginativo, revisando las respuestas dadas a una pregunta de las relacionadas en el **cuadro 2.3** a la luz de las dificultades encontradas en otras y de su experiencia práctica reflexionada) y una fase más justificativa, normativa o institucional, donde se impone dar coherencia y ajustar las reflexiones iniciales a los criterios de una estructura problematizada. Como parte sustancial de esta segunda fase debemos citar que las primeras versiones de las estructuras problematizadas son analizadas y debatidas por el equipo formado por los investigadores y colaboradores, antes de ser probadas en las aulas, y que –tanto en el nivel de innovación como en el de investigación- la puesta en práctica siempre produce, inevitable y afortunadamente, la necesidad de introducir cambios o, incluso, de abandonar un punto de vista inicial a favor de otro totalmente distinto, que puede afectar, incluso, a la propia estructura.

No obstante, la autora y el director de este trabajo y de otros sobre temas específicos (López-Gay, 2002; Martínez Sebastiá, 2003; Osuna, 2004, en desarrollo) hemos encontrado especialmente útiles para orientar la planificación, los siguientes aspectos:

- Realizar los estudios históricos, epistemológicos y didácticos guiados por las características del **cuadro 2.2** y las preguntas de los **cuadros 2.3** (pág. 90, 95 y 96).
- Transformar los títulos nominativos habituales en preguntas y *obligarnos a plasmar* la estructura de los temas y cursos de una forma gráfica, siguiendo el **gráfico 1** y mediante un instrumento que hemos denominado “gráfico de estructura problematizada”, que describiremos más adelante.

El trabajo realizado, desde finales de la década de 1970, por nuestro grupo de profesores/investigadores, se ha concretado en materiales para el aula que han ido evolucionando. La característica común ha sido tratar de acercar el trabajo en

el aula a la actividad científica (Gil y Carrascosa, 1994), evitando la transmisión de conocimientos ya hechos y desarrollando los temas mediante la realización de actividades por los alumnos, organizados en pequeños grupos, con la dirección y apoyo del profesor. Desde 1991, los materiales publicados –respetando la característica citada- se han elaborado con una estructura problematizada más acusada.

En la tabla siguiente se presentan algunas de las publicaciones más representativas de esta evolución, y las últimas investigaciones sobre temas específicos con una estructura problematizada (que están siendo actualmente objeto de publicación).

En dichos materiales, todos utilizados durante años por numerosos profesores y alumnos, se pueden analizar las secuencias de actividades de temas y cursos completos, y son una evidencia de la evolución experimentada hasta llegar a integrar teoría, prácticas, resolución de problemas y evaluación dentro de una estructura problematizada.

Tabla 3.1. Algunos de los materiales publicados

AUTORES	TÍTULO	AÑO
Beltrán, Furió, C., Gil, D., et al.	<i>Física y Química 2º BUP</i> , Anaya	1976
Beltrán, Furió, C., Gil, D., et al.	<i>Física y Química 3º BUP</i> , Anaya	1977
Calatayud, M. L., et al.,	<i>Trabajos prácticos de Física</i> . Valencia: ICE de la Universidad de Valencia	1978
Calatayud, M. L., et al.	<i>Trabajos prácticos de Física</i> . Valencia: ICE de la Universidad de Valencia	1978
Gil, D., et al.	<i>Física de COU Programas-guía para una clase activa</i> ICE Universidad Valencia.	1979
Furió, C., et al.	<i>Química de COU Programas-guía para una clase activa</i> ICE Universidad Valencia	1979
Seminario de Física y Química (Calatayud, et al.)	<i>La construcción de las ciencias físico-químicas</i> . (Programa-guía de trabajo y comentarios al profesor). Nau Llibres. Valencia.	1988
Martínez Torregrosa, J., Verdú, R., et al.	<i>La búsqueda de la unidad</i> . Libro del profesor y libro del alumno. (Generalitat Valenciana).	1991
Martínez Torregrosa, J., Verdú, R., et al..	<i>La búsqueda de la Unidad (la unidad de todas las cosas)</i> . Ciencias de la Naturaleza. 13-14. Enseñanza Secundaria Obligatoria. (Ed. Aguaclara) Libro del alumno y guía del profesor	1993 y 1998
Martínez Torregrosa, J., Verdú, R., et al..	<i>La búsqueda de la unidad (El movimiento de todas las cosas)</i> . Libro del profesor y libro del alumno. (Aguaclara: Alicante)	1995 y 1999
Martínez Torregrosa, J., Verdú, R., et al.	<i>Ciencias de la Naturaleza 2º ESO (Proyecto Investigar/ Comprender la Naturaleza)</i> (Aguaclara: Alicante)	1997
Osuna, L., et al.	<i>Astronomía E.S.O.</i> Aguaclara: Alicante	1998
Martínez. Torregrosa J, Verdú, R., et al.	<i>Física y Química, 4º ESO (Proyecto Investigar/ Comprender la Naturaleza)</i> (Aguaclara: Alicante)	1999
Doménech, J.Ll.	<i>L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora</i> . (Tesis. Universitat de València)	2000
López-Gay, R.	<i>La introducción y utilización del concepto de diferencial en la enseñanza de la Física: análisis de la situación actual y propuesta para su mejora</i> . Tesis doctoral no publicada. Universidad de Madrid.	2002
Carrascosa, Martínez Sala, y Martínez Torregrosa	<i>Física y Química 1º Bachillerato</i> . Santillana: Madrid	2000 y 2002
Martínez Sebastiá, B.	<i>La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para los futuros profesores de primaria</i> . Universidad de Valencia	2003
Osuna, L.	<i>La planificación de una estructura problematizada para la enseñanza de la "luz y la visión" en la ESO</i> (en desarrollo)	2004

Disponer de dicho material publicado nos permite centrarnos en esta memoria sólo en resaltar la estructura de algunos temas y grandes síntesis y en comentar algunos aspectos genuinos de la estructura problematizada como son el planteamiento inicial de un problema mediante actividades para que los alumnos tomen conciencia de su interés y se impliquen en su solución, el carácter de

estrategia posible del índice o hilo conductor del tema; la introducción de conceptos y modelos de manera tentativa cuya validez debe ser puesta a prueba, la integración de los trabajos prácticos y los problemas de lápiz y papel dentro de un proceso más amplio de resolución de problemas; y la realización de recapitulaciones favorecidas por dicha estructura hipotético-deductiva.

Somos conscientes de lo esquemática que puede resultar dicha presentación pero también de la inconveniencia de aumentar el volumen de esta memoria de investigación con anexos sobre materiales ya publicados hace varios años. Remitimos, pues, encarecidamente al potencial lector de esta memoria al análisis directo de dichos materiales, que incluyen, en varios casos, guías para profesores. El proceso detallado de planificación de un solo tema puede encontrarse en las tesis doctorales citadas en la tabla. (En caso necesario puede solicitarse más información en la dirección electrónica Joaquin.martinez@ua.es, rvecar@yahoo.es)

Sin embargo para tener una idea de las particularidades de la propuesta presentaremos algunas en el **Anexo I**. En dicho anexo mostramos los siguientes aspectos de distintos temas y/o síntesis:

- Título habitual del o de los temas, y título en forma interrogativa.
- Preguntas que guían la toma de decisiones, el estudio histórico/científico/didáctico, preguntas sobre metas parciales y obstáculos previsibles para alcanzarlas. Preguntas sobre la estrategia o índice a seguir, sobre la secuencia de actividades concretas y el sistema de evaluación.
- Meta orientadora y problema estructurante o secuencia de sub-problemas en torno a los que organizar la enseñanza y el aprendizaje.
- Metas parciales y pasos necesarios, acompañadas de obstáculos previsibles para su consecución (una gran ayuda para planificar una evaluación concebida como un instrumento de impulso y mejora de la enseñanza y el aprendizaje).
- Recapitulaciones y otras actividades realizadas por los alumnos

En este capítulo presentaremos algunas ejemplificaciones de estas propuestas con fragmentos extraídos de los programas-guía de trabajo de distintos temas, en los que se muestre algunos de los aspectos genuinos de la estructura problematizada: índice como estrategia; la introducción tentativa de conceptos y modelos; la integración de los trabajos prácticos, etc. Para mostrar estos aspectos hemos elegido los siguientes temas:

1.- Iniciación a la Astronomía diurna ("Las estaciones del año y el sistema Sol/Tierra"). Probado durante cuatro cursos con futuros profesores de Educación Primaria (de distintas especialidades) y con alumnos de la asignatura optativa "Astronomía" de 3º y 4º de ESO. Presentado en numerosos cursos para profesores de Primaria y Secundaria en activo. Este tema ha sido objeto de una Tesis Doctoral (Martínez Sebastiá, 2003)

2.- Óptica geométrica ("La luz y la visión") para alumnos de 3º de ESO. Probado durante tres cursos con grupos de 3º de ESO y 2º de Bachillerato. Presentado en varios cursos para profesores en activo de Física y Química de Enseñanza Secundaria. Este tema está siendo objeto de investigación en la actualidad (doctorando: Luis Osuna García, 2004, en desarrollo).

3.- Mecánica (Cinemática y Dinámica). Se trata de un curso inicial de Mecánica newtoniana. La misma estructura pero con distinto nivel de complejidad, ha sido probada durante más de diez años con alumnos de 4º de ESO, 1º de Bachillerato y 1º de Ingeniería (2 años, Universidad de Talca en Chile, (Becerra et al., 2004). Presentado en más de una decena de cursos para profesores de Física y Química en activo (Martínez Torregrosa y Verdú, 1997; Verdú y Martínez Torregrosa, 2001).

3.1 Ejemplo 1: Fragmentos del programa-guía sobre “Las estaciones del año y el movimiento del Sol y la Tierra” (astronomía) que muestran aspectos de interés.

Presentamos aquí algunas de las actividades (resumidas) que son abordadas por los alumnos en distintos momentos de la investigación dirigida [los programas-guía completos constan de más de cuarenta actividades, y pueden encontrarse en Martínez Sebastián (2003)].

No obstante, antes de dicha presentación, consideramos necesario contextualizar los fragmentos seleccionados mediante un breve relato del hilo conductor acompañado de un gráfico de la estructura problematizada del o de los temas.

La enseñanza habitual sobre el modelo Sol/ Tierra suele consistir en la presentación del modelo heliocéntrico en su estado final, ya acabado. Suele empezar presentando el modelo del Sistema Solar de un modo descriptivo, como si fuera “evidente” –eje inclinado respecto al plano de la eclíptica, órbita elíptica, colocación del Sol en uno de los focos, etc.-, para explicar a partir de él algunos de los días singulares o de las características de las estaciones.

En cambio, al seguir el proceso de planificación que hemos descrito, el problema que puede ser el origen de los conocimientos que queremos que aprendan nuestros alumnos coincide con el histórico: *¿Cómo deben moverse el Sol y la Tierra para que ocurran los ciclos que observamos en el movimiento del Sol?* Y, al igual que ocurrió históricamente, también hemos considerado adecuado dividirlo en dos grandes subproblemas, uno de tipo práctico y observacional, y otro más especulativo o teórico:

- 1. ¿Cómo es el movimiento del Sol? ¿Es aleatorio e imprevisible o existen ciclos, regularidades estrictas?*
- 2. (Si existen ciclos, entonces ...) ¿Cómo es el movimiento del Sol y la Tierra para que ocurran dichas periodicidades?*

Una preocupación continua por nuestra parte ha sido que el aprendizaje del modelo Sol/ Tierra contemplara también el carácter dramático de su evolución histórica, alejándonos de una visión meramente aséptica y técnica: la elaboración del modelo del Sistema Solar (y del Universo) ha sido un proceso que ha afectado profundamente a la concepción del ser humano sobre su "lugar en el mundo" y – lejos de ser una mera cuestión científica- ha afectado a la sociedad, cambiando la preponderancia del poder religioso, clarificando (no sin superar grandes dificultades) las diferencias entre ciencia y religión, y contribuyendo al papel que la ciencia ha ido adquiriendo en dicha sociedad. Más aún, dicha importancia no se restringe al cambio del modelo geocéntrico al heliocéntrico, sino que desde el principio de la Historia el conocimiento de las periodicidades de los astros (Sol, Luna y estrellas) fue una cuestión que afectó a la vida cotidiana (calendario/ planificación agrícola y de caza) y que otorgó poder a quien lo poseía.

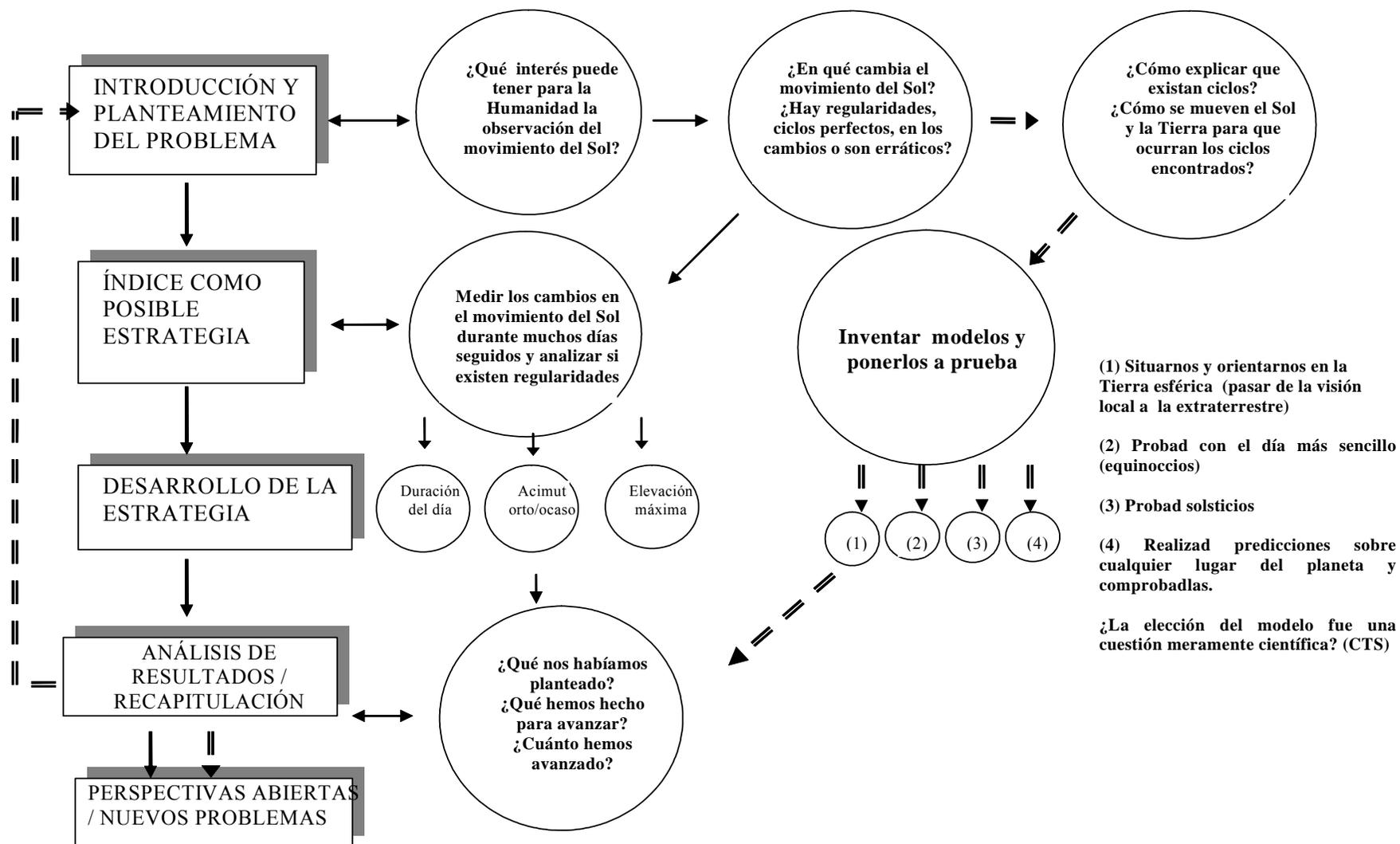
Presentamos además un "*gráfico de la estructura problematizada*" global, que resulta de gran ayuda para recordar –tanto a alumnos como a profesores- y, también, para elaborar la estructura gruesa de los temas. En esencia, estos gráficos consisten en una columna vertical, situada a la izquierda del papel, formada por rectángulos que representan las fases básicas de un tema problematizado (planteamiento del problema y su interés, índice como una posible estrategia, desarrollo de la estrategia -que típicamente suele consistir en una introducción de conceptos y/o modelos y en su puesta a prueba- y análisis de lo avanzado). Cada uno de estos rectángulos va acompañado por una sucesión horizontal de varios círculos en los que se indican las preguntas/ideas más importantes que se plantean en dicha fase. Novak, en su capítulo del Handbook in Science Education (1994), afirma que las ideas representadas en unos pocos círculos dispuestos en fila se recuerdan mucho mejor que en otras disposiciones. Se trata de plasmar de una manera sencilla la lógica problematizada de todo el tema, de manera que sea fácil su recuerdo y permita la orientación (saber qué se busca; por qué y para qué se está haciendo lo que se hace; qué vendrá a continuación). Las flechas, de simple o doble línea- indican el orden seguido y se interpretan intuitivamente. En primer lugar se siguen las flechas de línea sencilla y al final del primer problema se plantea el segundo, indicado por las flechas de doble trazo.

El gráfico de estructura problematizada de los dos subproblemas en que hemos dividido la Astronomía se representa en la página siguiente. Más información sobre el resultado del proceso de planificación de este tema se encuentra en el anexo I.

Es dentro de este contexto, donde se desarrollan los fragmentos que hemos elegido para mostrar algunos aspectos genuinos de las estructuras producidas según nuestra propuesta de planificación. Los aspectos que hemos seleccionado son:

- El planteamiento del problema y su interés en el inicio del primer tema
- La forma en que se introducen conceptos y definiciones operativas
- La realización de síntesis y recapitulaciones sobre la investigación realizada
- Presentación de un índice como una estrategia posible y lógica para avanzar en el problema planteado (en este caso, el de cómo se deben mover el Sol y la Tierra para que ocurran los ciclos encontrados) y algunas actividades de elaboración y puesta a prueba del modelo.

Gráfico 3.1. ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL TEMA “¿CÓMO SE MUEVEN EL SOL Y LA TIERRA? (INICIACIÓN A LA ASTRONOMÍA DIURNA)” PARA ALUMNOS DE MAGISTERIO Y DE 4º DE ESO (ASIGNATURA OPTATIVA)



En el inicio del tema, para facilitar que los alumnos se apropien del problema:

¿CÓMO SE MUEVEN EL SOL Y LA TIERRA? (INICIACIÓN A LA ASTRONOMÍA DIURNA)

Los movimientos del Sol, la Luna, y las estrellas han llamado la atención de los seres humanos desde tiempos remotos. Aunque en la vida actual la observación del cielo nocturno no es muy habitual (y la luz artificial hace difícil una observación cómoda en las ciudades), en la Antigüedad, cuando el contacto con la Naturaleza era mayor y la contaminación lumínica inexistente, dichos movimientos debieron atraer la atención y generar fascinación. En efecto, no sólo son movimientos omnipresentes sino que todos intuimos que aunque existen algunos cambios en ellos, se producen con una cierta regularidad asociada al clima que, a su vez, afecta al comportamiento de los seres vivos. Todos conocemos que determinados comportamientos o procesos de las plantas y los animales están relacionados con el clima.

A.1 Describid cambios que podríamos observar en el movimiento del Sol si lo siguiéramos durante muchos días.

La cuestión de si estas regularidades percibidas se producen con una periodicidad estricta o no, siempre de la misma manera, con el mismo ciclo, y si los cambios que observamos están relacionados entre ellos o no, fue una cuestión que interesó mucho hace más de 3000 años. De hecho, los primeros datos numéricos sobre un aspecto científico que se conocen son los relativos a las posiciones del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas (Asiria, Babilonia, Caldea,..) y las primeras “plantas científicas” son observatorios astronómicos (como los de Stonehedge o los de las culturas precolombinas).

A.2 ¿Qué interés podría tener en aquella época el estudio de la regularidades observadas en el movimiento de los astros, como el Sol o la Luna?

Pero no sólo se trataba de un problema de interés práctico: desde tiempos también remotos, las observaciones y relaciones cuantitativas de las posiciones de los astros, han ido acompañadas de especulaciones sobre cómo era el “mecanismo” real de dichos movimientos, y qué es lo que hacía que los astros se movieran como lo hacen. En definitiva, cómo debían moverse el Sol y la Tierra para que se produjeran las regularidades y relaciones que se observan (es decir, se buscaba una explicación).

En este tema, nos vamos a plantear, pues, dos cuestiones:

- *¿Cómo es el movimiento del Sol (nos limitaremos, para empezar, a la astronomía diurna)? ¿Los cambios que observamos en el movimiento del Sol se repiten periódicamente? ¿Lo hacen siguiendo una periodicidad estricta, matemática? ¿Existe relación entre dichos cambios u ocurren independientemente unos de otros?*
- *¿Podemos encontrar un modelo de Sistema Sol/ Tierra, es decir de cómo se mueven el Sol y la Tierra que explique conjuntamente las regularidades observacionales y las relaciones entre ellas?*

En **A.2**, por ejemplo, los alumnos aluden a la importancia de conocer si existen ciclos que permitan “contar” el tiempo que falta para que se vuelvan a repetir determinados comportamientos de plantas y animales o climáticos, ya que permitiría planificar la época adecuada para la siembra y la cosecha, el momento de trashumancia de animales (para la caza), prever las provisiones necesarias para sobrevivir a períodos secos, etc. En definitiva, se ve la posibilidad e importancia de elaborar un calendario (el poder de los sacerdotes/ astrónomos o la edificación de observatorios astronómicos en la Edad de Piedra, queda, pues,

justificado). Más aún, como se ve, desde ese momento se plantean los problemas en que vamos a centrar nuestro estudio y una posible estrategia (basada en una lógica problematizada) para avanzar en su solución.

Introducción de conceptos y definiciones operativas

En el desarrollo de la estrategia para resolver el primero de los problemas, como se ve en el gráfico citado, se debe plantear el seguimiento de las posiciones de salida y puesta del Sol. Estas son algunas de las actividades que se les plantea a los alumnos en ese momento:

1.2 LOS CAMBIOS EN LA POSICIÓN DE SALIDA Y PUESTA DEL SOL

A.8 Planificad cómo podríamos comprobar que el Sol no sale/se pone siempre por el mismo sitio y si existen regularidades en estos cambios.

A.9 Uno de los problemas que debemos resolver para llevar a cabo el plan previsto es indicar con precisión la posición de salida (orto) y de puesta (ocaso) del Sol en el horizonte. Pensad posibles formas de representar el horizonte de manera que podamos dibujar el orto y el ocaso.

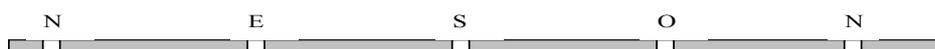
Como se habrá visto, observadores distintos tendrán horizontes naturales distintos por lo que las referencias a señales como montañas, edificios,..., tienen grandes limitaciones. Necesitamos, pues, una referencia común para todos que nos permita dar la dirección del orto y el ocaso sin usar señales locales. ¿Conoces algún instrumento que nos pueda suministrar una referencia fija, a partir de la cual sea posible determinar la dirección en que se encuentra un objeto en el plano del horizonte? Efectivamente, la brújula –que debes aprender a utilizar– señala siempre una misma dirección (si está colocada horizontalmente) y sentido (al Norte) y nos permite medir el ángulo que forma una recta que pasa por nuestro ojo y el Norte y otra recta que pasa por nuestro ojo y el objeto o lugar que deseamos situar. A este ángulo se le llama acimut y está medido en el plano del horizonte del observador (no nos dice la “altura” del objeto sobre el horizonte).

No obstante, antes de la utilización de la brújula, se podían tomar unos ejes fijos en el plano del horizonte: la línea que contiene la sombra más corta de un palo vertical siempre es fija independientemente del día en que la obtengamos. A esta línea se le llama “línea meridiana”. El sentido de la sombra indica el Norte (geográfico) y el sentido hacia el Sol, el Sur. La línea perpendicular a ésta señala el Este (menor ángulo con el Norte) y el Oeste.

A.10 Utiliza la brújula e indica las direcciones de acimut 0°, 90°, 180°, 270°, 360°. Dichas direcciones se llaman “puntos” cardinales. Indica el acimut que corresponde al NE, NW, SE, SW

Cuando los científicos se disponen a realizar mediciones dentro de una investigación ya tienen ideas previas sobre lo que cabe esperar que salga. Esto les permite tomar conciencia de anomalías o hechos llamativos que no suceden tal como esperaban y les obliga a reflexionar sobre lo que pensaban y, en ocasiones, a modificarlo.

A.11 Antes de realizar las mediciones con la brújula del orto y el ocaso conviene que representemos lo que creemos que vamos a encontrar: Dibuja en el horizonte de la figura por dónde crees que sale y se pone el Sol en el día de hoy y por dónde lo hará dentro de un mes.



A.12 Dibujar el horizonte natural en vista panorámica (360°) desde un lugar en que se pueda observar la salida y la puesta de sol, utiliza la brújula para medir el acimut de ambas posiciones.

A.13 La siguiente tabla recoge mediciones del acimut de salida/ puesta del Sol en algunos días. Representálos en una vista panorámica (como la de la A.11) y termina de rellenar la tabla (previendo qué pasará).

DÍA	23/9	22/10	21/11	21/12	21/3	21/6
	Eq. Otoño			Sols. Inv.	Eq. Prim.	Sols. Ver.
Acimut salida	90 ⁰	104 ⁰	114 ⁰	120 ⁰		
Acimut puesta	270 ⁰	256 ⁰	246 ⁰	240 ⁰		

A.14 Representa gráficamente cómo cambian el acimut de salida/ puesta del Sol a lo largo del año. Señala, después, las diferencias con lo que creías anteriormente

En este fragmento se puede advertir cómo los alumnos se ven, de un modo justificado, enfrentados a la necesidad de planificar un proceso cuidadoso de medición, cómo se busca y se introducen conceptos como "acimut" o "línea meridiana" porque es necesario para avanzar en el problema planteado. También puede observarse cómo los alumnos deben realizar predicciones basadas en sus intuiciones (A.11) o en su conocimiento, desarrollado anteriormente en el tema, de que existen ciclos en la *duración* de los días (en A.13). La A.14 genera una ocasión para que los alumnos revisen/ evalúen las ideas intuitivas confrontándolas con los resultados de *su* propia investigación (que no estaba dirigida a generar conflicto con dichas ideas, sino a resolver un problema de interés).

Actividades de síntesis, de recapitulación de la investigación realizada

Como se refleja en el gráfico (Figura 3.1) de estructura problematizada, una vez completado el desarrollo de la estrategia, es necesario recapitular, elaborar una síntesis de lo hecho. En este momento se les plantea a los alumnos actividades (algunas de ellas para realizar en casa) para orientar esta fase de toda investigación:

A.22 Elaborad una tabla donde se recojan los ciclos en los tres aspectos del movimiento del Sol que hemos estudiado y sus relaciones.

A.23 Indica cómo podrías asegurarte de en qué época del año te encuentras (con un margen de error de 10 días) mediante mediciones del movimiento del Sol.

A.24 Elabora una recapitulación problematizada en la que se recoja: ¿Cuál es el problema que hemos tratado y cuál era su interés? ¿Qué plan hemos seguido para su solución? ¿A qué conclusiones hemos llegado? ¿Qué vamos a hacer a continuación?

A.26 Elabora una lista de ideas sobre los aspectos tratados que han cambiado como fruto del trabajo realizado, indicando también por qué las has cambiado.

A.28 Elabora un mapa conceptual sobre lo tratado hasta aquí que empiece por: "Los cambios en el movimiento del Sol"

Invencción de modelos e índice como posible estrategia

La invención de modelos, la elaboración de hipótesis, es una actividad básica en la ciencia. Los estudiantes, como se muestra a continuación, tienen ocasión de enfrentarse a este proceso de un modo sistemático, al abordar el segundo de los problemas planteados (¿Cómo deben moverse el Sol y la Tierra para que ocurran los ciclos y simetrías observados?):

II. ¿CÓMO SE MUEVEN EL SOL Y LA TIERRA PARA QUE OCURRAN LOS CICLOS QUE OBSERVAMOS? (La invención de un modelo Sol/ Tierra)

(...) Hubo una época en que se cambió de las interpretaciones mitológicas del movimiento de los astros, incluyendo el Sol, la Luna, las estrellas y los planetas, a la elaboración de hipótesis, de modelos, sobre sus movimientos. Es decir, se trató de inventar posibles movimientos que (aunque no fueran observables directamente) pudieran explicar las observaciones, las regularidades observadas.

Y eso es lo que vamos a hacer ahora: inventar un modelo sobre cómo se mueven el Sol y la Tierra. Por supuesto, nuestro modelo estará sujeto a la contrastación: será mejor en la medida en que podamos deducir a partir de él las observaciones que hemos hecho localmente, y en la medida que permita realizar predicciones sobre lo que debe ocurrir en situaciones distintas, nuevas, que podamos comprobar.

No obstante, no partiremos de cero. Daremos por sentado –aunque históricamente no fue algo fácil– que la Tierra es esférica aunque su superficie es tan grande que en nuestro campo de visión local parece plana. Supondremos también que tenemos acceso a todas las mediciones que se pueden realizar desde cualquier lugar de la Tierra sobre el movimiento del Sol (existen tablas muy antiguas –y programas informáticos– donde podemos encontrar los datos anuales en distintas ciudades).

Una posible estrategia para avanzar en la invención de este modelo, podría ser, pues, la siguiente:

1. Imaginaremos que podemos ver la Tierra y el Sol desde muy lejos (lo que facilita ampliar las posibilidades de movimiento del sistema Sol/Tierra)
2. “Colocaremos” (imaginariamente, con regla y compás y con un alfiler en una esfera de corcho blanco) una persona en la Tierra esférica con los elementos necesarios para realizar las mediciones del movimiento del Sol (plano del horizonte, palo vertical, eje norte/ sur) y situaremos el sistema Sol/ Tierra en una posición en la que dicho observador obtendría los valores que sabemos que se obtienen en el lugar elegido (Alicante o un punto en el Ecuador, ...) en la hora y día en que todo ocurre más fácilmente: el mediodía de uno de los equinoccios. Si conseguimos eso, ese punto de la Tierra esférica corresponderá a Alicante (o el lugar elegido). Tendremos, pues, una correspondencia inicial entre nuestro modelo y un observador real local.

3. *A partir de ahí, haremos “funcionar” el modelo, es decir, imaginaremos cómo se deberían mover el Sol y la Tierra, para que ocurriera lo que sabemos que ocurre en un día de equinoccio (cuando la duración del día es igual en todos los lugares del planeta).*
4. *Pondremos a prueba el funcionamiento del modelo, viendo si puede explicar lo que sabemos que ocurre en los solsticios. Y, si conseguimos esto ...*
5. *Realizaremos predicciones con el modelo de lo que ocurrirá en distintos puntos del planeta en los días singulares (equinoccios y solsticios), comprobándolas con los valores medidos directamente en dichos puntos.*

Vemos cómo el índice del tema es claramente una posible estrategia para avanzar en su solución. Inicialmente, los alumnos ven lógicos los primeros pasos de esta estrategia (¿cómo colocarnos en la superficie esférica terrestre si vivimos en ella?; ¿qué tendría que ocurrir para que fuera un día de equinoccio?), y paulatinamente (ayudados por la realización de recapitulaciones parciales) se van apoderando de la misma, de manera que se encuentran orientados: saben qué están haciendo, para qué y qué vendrá a continuación.

La siguiente actividad, en la primera parte de la estrategia, plantea –una vez colocados el prototipo de Tierra y la luz del Sol de manera que estemos en un día de equinoccio- cómo colocar Alicante en la esfera terrestre

En **A.4** se introduce de una manera funcional el concepto de latitud: el ángulo complementario de la elevación angular máxima del Sol en uno de los días de equinoccio. Los alumnos advierten cómo “la definición aprendida” (“el ángulo que forma el radio de la Tierra que pasa por un lugar con el Ecuador”) no era funcional, no podían saber cómo hallar la latitud.

Una vez que sabemos dibujar (y hacer en la esfera de corcho) la vertical (nomon), el plano del horizonte con los puntos cardinales de un observador, y que hemos decidido cómo tendrían que estar el Sol y la Tierra uno de los días de equinoccio, vamos a abordar cómo colocar Alicante en la esfera terrestre. Pero ¿cómo saber dónde estamos en la esfera si vivimos sobre ella? La única alternativa es mirar fuera de ella: al Sol y/o las estrellas, puesto que veremos su posición de manera distinta según dónde nos encontremos en la Tierra

A.4 Sabemos que el día de equinoccio, en Alicante, la culminación del Sol es de 51°. Utilizando la vista lateral del sistema Sol/ Tierra, dibuja un observador que vea la culminación del Sol con un ángulo mucho mayor y otro con un ángulo mucho menor. ¿Cómo podríamos determinar con exactitud dónde está Alicante?

La siguiente actividad, se propone ya avanzada la elaboración del modelo: cuando una vez explicados los equinoccios y solsticios en Alicante, se realizan predicciones sobre lugares en que –si el modelo es cierto- deberían ocurrir observaciones “especiales” en los días singulares:

II.3 PUESTA A PRUEBA DEL MODELO MEDIANTE PREDICCIONES CONTRASTABLES

El modelo elaborado nos permite explicar las observaciones locales en Alicante, pero también permite deducir qué debería observarse en lugares donde nunca hemos estado. La puesta a prueba de estas predicciones permite obtener evidencias para apoyar más firmemente que lo que hemos inventado existe.

A.17 Utiliza el modelo y realiza predicciones que tengan “algo de especial”. Por ejemplo, según el modelo, el día del solsticio de verano hay algunos lugares donde no se hará de noche, ¿en qué latitud ocurrirá esto?; en algún día y algún lugar, los observadores tendrán la culminación del Sol sobre sus cabezas, ¿cuándo y dónde?;.... Identifica algunos de estos lugares y comprueba por Internet si ocurre así.

<i>Predicción especial</i>	<i>Lugar (latitud)</i>	<i>Momento (día/días del año)</i>

Los alumnos predicen así la existencia de los Círculos Polares, de los Trópicos, la duración de la noche polar, etc., y pueden comprobar en una de las numerosas direcciones de Internet con simuladores si efectivamente ocurre lo predicho.

A continuación mostramos otro tema que se pueden tratar de un modo autónomo, la óptica, elaborado para una enseñanza para alumnos de 3º ESO.

3.2 Ejemplo 2: Fragmentos del programa-guía del tema “¿Cómo vemos? ¿Cómo podríamos ver mejor?” con una estructura problematizada.

Presentamos a continuación los resultados del proceso de la planificación del tema sobre “La luz y la visión” u “Óptica geométrica” que se desarrollan en el 2º ciclo de la ESO y en 2º de Bachillerato, y posteriormente analizaremos algunos aspectos genuinos generados por la estructura problematizada del tema.

En primer lugar cabe resaltar que al profundizar en la historia sobre la luz y la visión buscando qué problema podría ser adecuado para organizar la enseñanza, hemos encontrado [Osuna (2001), Martínez Torregrosa y Osuna (2001) y Martínez Torregrosa, Osuna y Verdú (1999)] que antes de que la luz se convirtiera en objeto de investigación por sí misma (con preguntas tales como ¿por qué se propaga, se refleja o se refracta como lo hace?), los avances en el conocimiento científico sobre la luz se realizaron al tratar de solucionar el problema de **¿cómo vemos?** Los intentos de explicar cómo se produce la visión humana –tanto al mirar los objetos directamente como mediante espejos o a través de varios medios- fueron el motor para la elaboración de una teoría sobre la luz y la visión (la teoría de Kepler) con suficiente capacidad explicativa y predictiva para que sea apropiada tanto en el nivel de 3º de ESO como en el de 2º de Bachillerato (añadiendo un mayor carácter cuantitativo).

Esto supone un cambio drástico respecto a la enseñanza habitual de la óptica, que suele comenzar con el estudio de la naturaleza de la luz (propagación, la reflexión y refracción y sus leyes), para después utilizar estos conocimientos para abordar la formación de imágenes en espejos y lentes.

Además, nuestra intención de resaltar las relaciones ciencia-técnica-sociedad-ambiente ha hecho que completáramos el problema añadiendo “¿cómo podríamos ver mejor?”, lo que favorecerá la dimensión tecnológica (elaboración de prototipos para poner a prueba los modelos, construcción y comprensión de instrumentos; etc ...).

El estudio histórico-epistemológico –junto con la formación didáctica- sobre la evolución de los conocimientos sobre la visión desde los griegos hasta Kepler, ha permitido a los investigadores decidir la meta orientadora (razonable y alcanzable para el nivel de los alumnos) e identificar los grandes pasos o avances y los obstáculos que hubo que superar hasta conseguir un modelo sobre la visión humana con suficiente coherencia y entidad explicativa. Expresamos muy resumidamente los resultados de dicho estudio:

- La superación de las antiguas concepciones griegas sobre la visión fue realizada por Alhacen. En concreto un gran primer paso fue la superación de la concepción de las imágenes como “simulacros” emanados de los objetos para ser vistos o la emisión del “fuego visual”. Alhacen consideró los objetos que vemos como fuentes luminosas secundarias y, por tanto, la visión como un proceso que se produce cuando llega luz al ojo del observador.
- El sistema explicativo de la visión de Alhacen y de Kepler constaba de un sistema geométrico de representación de la luz (como una entidad física en el espacio) con el que explicar y predecir fenómenos ópticos.
- El estudio de las lentes permitió profundizar en el modelo de visión y modelizar el ojo como un instrumento óptico formador de imágenes, así como reformular el propio concepto de imagen óptica. El concepto de imagen óptica de Kepler (que concebía los objetos como sistemas de infinitos focos puntuales que emitían en todas direcciones, frente a Alhacen que pensaba que de cada punto sólo salía un rayo) tenía más capacidad explicativa y predictiva que el de Alhacen ya que no sólo daba cuenta de las observaciones anómalas de los diámetros lunares obtenidas con la cámara oscura (el diámetro medido de la luna llena no coincidía con el medido cuando se producía eclipse de Sol), sino que podía predecir dónde localiza el ojo la imagen que ve (por ejemplo al mirar a un espejo), sin recurrir a principios empíricos “ad hoc” (como ocurría con el modelo de Alhacen), con sólo aplicar las consecuencias de la propagación de la luz y su propio concepto de imagen.

- El comportamiento geométrico de la luz: la propagación (esférica) rectilínea en cada dirección de propagación en los medios homogéneos, la reflexión en los espejos, la refracción al cambiar de medio, la propia determinación de la rapidez de propagación, etc. no se formularon como hechos empíricos derivados de una determinada concepción de la naturaleza de la luz, sino como hipótesis para explicar cómo vemos. La contrastación de cada uno de estos comportamientos y determinaciones se realizó, pues, por la coherencia interna de la teoría que explica cómo vemos.
- El programa de investigación que condujo a la elaboración de una teoría que explicara cómo vemos no fue, pues, consecuencia del conocimiento de la naturaleza de la luz. Sólo cuando se tenían explicaciones suficientemente coherentes y universales referidas a los fenómenos ópticos y se establecieron los límites de la validez de la óptica geométrica, los científicos se plantearon el problema de la naturaleza de la luz como origen de sus investigaciones.

Estos obstáculos conceptuales y epistemológicos sobre este tema han sido puestos de manifiesto por la investigación didáctica de los últimos años (Andersson y Karrquist, 1983; De La Rosa et al., 1984; Goldberg y McDermont, 1986; Perales y Nievas, 1988; Kaminski y Viennot, 1989; Osborne et al., 1993; Fleer, 1996; Saxena, 1991; Collis et al., 1998; Selley, 1996_a y 1996_b; Galili y Hazan, 2000_a y 2000_b; Martínez Torregrosa y Osuna, 2001; Viennot, 2002;...).

En el trabajo en desarrollo de Osuna se detallan estos avances y obstáculos y, lo que es imprescindible, se ha realizado una revisión sobre la investigación didáctica en este tema y un trabajo empírico para determinar la relevancia didáctica de los obstáculos predichos: determinar en qué medida están presentes antes y después de la enseñanza habitual (en ESO y 2º de Bachillerato). En el próximo ejemplo (sobre Mecánica) presentaremos una muestra de estos estudios empíricos, que contribuyen, además, a obtener ideas y razonamientos de los alumnos muy útiles para elaborar el programa-guía o secuencia de actividades para el aula.

En el **cuadro 3.1** se muestran la meta orientadora, metas parciales o pasos necesarios y algunos de los obstáculos históricos y actuales que hubo/hay que superar para apropiarse de esta teoría (Osuna, 2001).

Cuadro 3.1. META ORIENTADORA, METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS DEL TEMA “¿CÓMO VEMOS? ¿CÓMO PODRÍAMOS VER MEJOR?”

<p>PROBLEMA ESTRUCTURANTE</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿Cómo vemos? ¿Cómo podríamos ver mejor?
<p>META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)</p> <ul style="list-style-type: none">• Que se apropien de una teoría (la teoría de Kepler ampliada con algunas nociones sobre la visión de los colores) capaz de explicar la visión humana de los objetos tanto al mirarlos directamente como indirectamente (a través de espejos planos, lentes, o cuando el objeto y el observador se encuentran en distinto medio) y el comportamiento geométrico de la luz relacionado con ella. Realizar y probar predicciones sobre fenómenos ópticos sencillos.
<p>METAS PARCIALES (GRANDES PASOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS</p> <p>1. Concebir la visión como un proceso en el que es necesario que llegue luz al ojo del observador. Lo que supone:</p> <ul style="list-style-type: none">- Saber que los objetos que vemos emiten luz y son, por tanto, fuentes secundarias de luz.- Concebir la luz como una entidad física con existencia independiente en el espacio separada de las fuentes primarias y/o secundarias y del ojo del observador. <p><i>Posibles obstáculos</i></p> <p>1. (Obstáculos a 1.) Ideas espontáneas basadas en que no es necesario que llegue luz al ojo del observador:</p> <ul style="list-style-type: none">- La visión consiste en un proceso en el que “algo” es emitido por el ojo o una imagen del objeto llega hasta él.- Se puede ver en la oscuridad.- No es necesario que los objetos que vemos sean fuentes de luz.- Sólo hay luz cuando existen fuentes luminosas u objetos iluminados, por lo que no se considera una entidad física independiente en el espacio.- El color es una propiedad de los cuerpos que vemos o de la luz que los ilumine (sin relación con la luz reflejada por ellos).

2. Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de la luz según el cual:

- Los rayos son conceptos ideales no visibles (ni la propia luz) que sólo representan cada una de las direcciones de propagación de la luz.
- Desde cada fuente puntual la luz es emitida en todas las direcciones (esféricamente). Un haz de luz es parte de la esfera de luz emitida.
- Las fuentes luminosas extensas (primarias o secundarias) se pueden idealizar como conjuntos de fuentes luminosas puntuales.
- La luz "blanca" es de carácter heterogéneo, es decir, está formada por muchos tipos de luz.

Posibles obstáculos

2. (Obstáculos a 2.) Ideas o deficiencias derivadas de no disponer de una concepción geométrica idealizada de la luz:

- Creer que la luz o los rayos de luz se ven. No considerar el rayo de luz como una invención, un "constructo teórico" sin entidad real, ni color, ni asimilable a los halos de luz que, en ocasiones, se ven alrededor de las fuentes puntuales
- No tratar a las fuentes extensas como conjunto de fuentes puntuales que emiten en todas direcciones
- No utilizar las consecuencias geométricas de la propagación de la luz para explicar y predecir fenómenos ópticos

3. Apropiarse de una concepción apropiada (la de Kepler) de imagen óptica y de cómo se forma. Lo que supone conocer que:

- El ojo es un instrumento óptico formador de imágenes en la retina que puede ser modelizado como un sistema formado por un lente y una pantalla. La imagen retiniana aporta información sobre la forma, tamaño, color y lejanía (perspectiva) del objeto que vemos.
- En visión directa la imagen se obtiene cuando un haz divergente de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa entra en el ojo y converge en un punto de la retina. En visión indirecta, el haz de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa, después de incidir en el instrumento óptico (espejo, lente, superficie de separación de dos medios,...) es desviado hasta el ojo y la imagen que se obtiene en la retina provoca la sensación de ver una imagen en el punto de donde procedería la luz si no hubiera sido desviada (punto que puede ser localizado geoméricamente por ser el origen directo del haz divergente de luz que entra en el ojo).
- El color con que vemos los objetos es una sensación que se elabora a partir de las respuestas de tres tipos de receptores nerviosos de la retina al tipo de luz incidente.

Posibles obstáculos

3. (Obstáculos a 3.) Ideas basadas en concebir la imagen como una emanación del objeto.

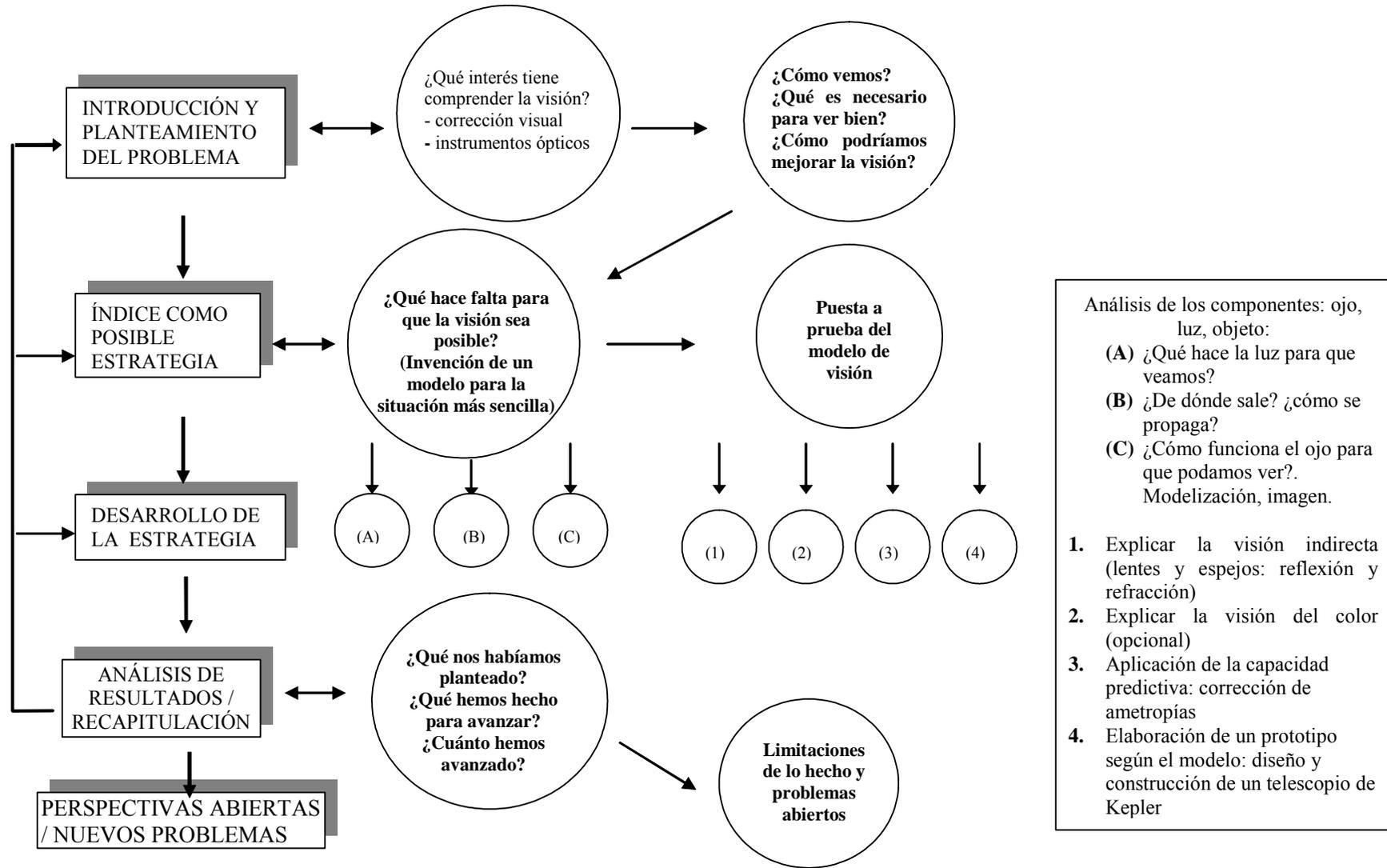
- Creer que la imagen se traslada "ya hecha" desde el objeto o que los rayos son portadores de cada uno de los puntos de la imagen.
 - No considerar al ojo como un instrumento óptico formador de imágenes, por lo que se cree que la imagen existirá independientemente del ojo.
4. **Conocer los límites de validez de la óptica geométrica para explicar cómo vemos.** Es decir:
- La imagen "nítida" y sin "bordes coloreados" se puede obtener geoméricamente de los sistemas ópticos cuando limitamos la luz incidente a un estrecho haz paraxial y cuando consideramos lentes delgadas.

El estudio anterior ha permitido elaborar una estructura problematizada que se representa en el gráfico siguiente (**gráfico 3.2**). En dicho gráfico podemos ver cómo tras una introducción donde se plantean actividades para que los alumnos reflexionen sobre el interés de estudiar cómo vemos (entre ellas, el aprendizaje de una palabra en Braille), se propone una estrategia típica de las investigaciones: elaborar –de manera tentativa– un modelo para la situación más sencilla (que explique cómo vemos al mirar a los objetos directamente) que se pone a prueba (y se va refinando) en situaciones distintas (visión indirecta) y mediante su utilización para construir prototipos e instrumentos que funcionen y resuelvan problemas prácticos (ametropías, cómo ver bien las cosas que están muy lejos o que son muy pequeñas).

Una vez contextualizado el tema, mostraremos algunos fragmentos del mismo en que se tratan:

- La elaboración de un modelo de visión directa por alumnos de 3º de ESO
- Puesta a prueba y mejora del modelo elaborado
 - Explicación y predicción de situaciones reales
 - Construcción y comprensión de prototipos e instrumentos

Gráfico3.2. ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL TEMA:" ¿CÓMO VEMOS? ¿CÓMO PODEMOS VER MEJOR?"



Actividades para la elaboración de un primer modelo de visión

En nuestra propuesta de enseñanza para resolver el problema de “como vemos”, las actividades concretas para la introducción de conceptos y/o hipótesis, de evaluación, la puesta a prueba de los modelos construidos, los diseños experimentales para la realización de observaciones y los trabajos prácticos y, por supuesto, las actividades donde los alumnos tengan ocasiones reiteradas de exponer sus ideas y razonamientos se presentan impuestas por la lógica problematizada que hemos propuesto para abordar el problema estructurante. Para comentar aquí hemos seleccionado unas pocas actividades de especial importancia que permitan entender los aspectos básicos del desarrollo propuesto para la enseñanza de la luz y la visión en la ESO.

Estas actividades son abordadas por los alumnos en distintos momentos de la investigación dirigida [los programas-guía completos constan de más de cuarenta actividades, y pueden encontrarse en Osuna (2001)].

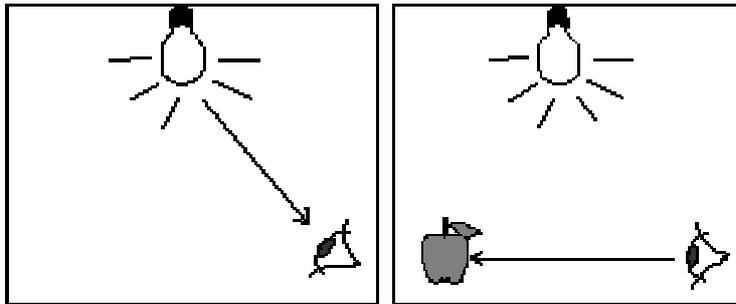
En primer lugar mostraremos algunas de las actividades que se realizan al inicio del tema y que sirven para plantear el problema de *¿cómo vemos?*, al que vamos a enfrentarnos, como origen de una teoría geométrica de la luz y la visión y organizar la enseñanza en torno a él, y, por tanto, la posible estrategia que vamos a seguir para poder resolverlo. Además estas actividades deben ser útiles para explicitar las ideas que se tienen sobre como se produce la visión, y que los alumnos tomen conciencia de las mismas.

En el inicio del tema, para explicitar ideas y formular interrogantes que orienten la elaboración de un primer modelo sobre cómo vemos:

El objetivo de la actividad **A.4** es iniciar la reflexión sobre qué es necesario para ver un objeto y la función que realizan el objeto, la luz y el ojo, así como plantear de forma explícita los interrogantes que habrá que resolver para avanzar en el problema planteado de una forma, lógica, razonada y metódica. Recordemos que las investigaciones han constatado que, en un elevado porcentaje, los estudiantes de estas edades suelen interpretar la visión como un proceso en el que no es necesario que llegue luz al ojo del observador procedente del objeto.

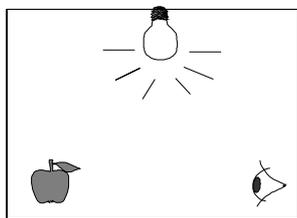
Los trabajos de Osuna (2004) analizan las respuestas de los alumnos y concluye que se atienen a los esquemas que mostramos en A.4.

A.4 Un alumno ha realizado las siguientes explicaciones sobre cómo ve al mirar a una bombilla encendida y hacia una manzana en el interior de una habitación iluminada. Comentad si estáis de acuerdo con las explicaciones y esquemas de ese alumno y proponed, en su caso, otras mejores.

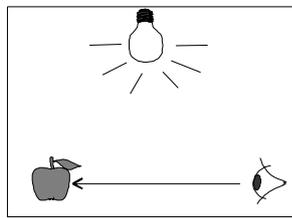


“Veo la bombilla porque envía luz al ojo”. “Veo la manzana porque miro hacia ella”

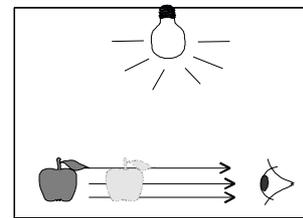
Algunas de los esquemas encontrados son los siguientes, con distinto grado de aceptación:



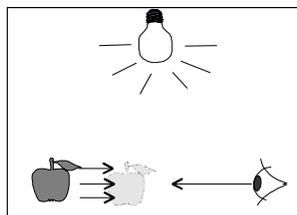
A: Vemos porque la miramos



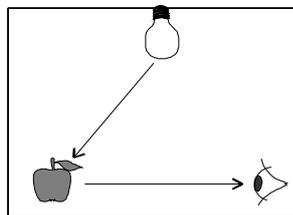
B: Vemos porque el ojo envía “la mirada” hacia la manzana



C: Vemos porque de ella sale una imagen que llega hasta el ojo



D: Vemos porque de ella sale una imagen y el ojo envía “la mirada”



E: Vemos porque la luz que sale de ella llega hasta el ojo

El análisis y discusión de las explicaciones dadas por los alumnos a cómo vemos los objetos en esta situación permite plantear en el aula algunos interrogantes:

1. Se admite que al ver la bombilla llega luz al ojo procedente de ella, pero, ¿es necesario que llegue luz al ojo procedente de los objetos que vemos, como la manzana? Esta cuestión deberá ser recogida por el profesor aunque sea planteada de forma minoritaria por los alumnos cuando expresan que la luz de la bombilla "rebota" en la manzana.
2. ¿Sale "algo" del ojo al ver los objetos? Y también ¿qué significan las flechas dibujadas en esos esquemas?
3. ¿La bombilla encendida emite luz que se propaga en líneas rectas (rayos) en todas las direcciones? ¿Podemos aceptar esta idea y su representación sin contrastación experimental y sin un análisis en profundidad de su significado?
4. A veces se piensa que la luz de la bombilla "rebota" en la manzana y llega al ojo, pero si es así ¿por qué vemos la manzana y no la bombilla?, ¿sale una imagen de la manzana con la luz? o también ¿qué hace la luz en el ojo para que veamos bien la manzana?

Estas preguntas sacan a la luz algunas ideas de "sentido común" sobre el proceso de la visión y permiten su análisis. Una vez más, se trata de resaltar el proceso de construcción de la ciencia, en el que los científicos hacen explícitas las hipótesis contenidas en sus razonamientos y las someten a pruebas rigurosas (Chalmers, 1984), someten a contrastación experimental las consecuencias lógicas que se derivan de estas ideas (National Research Council, 2001).

Ante las dos opciones que plantea la actividad, los alumnos suelen aceptar que llegue luz al ojo procedente de la bombilla encendida pero, sin embargo, se muestran reticentes a aceptar que del objeto iluminado salga luz que llegue al ojo para ser visto, lo que supone poseer dos explicaciones de la visión según el tipo de objeto que es visto (fuente primaria o secundaria de luz), aspecto éste característico de la epistemología espontánea (Hewson, 1990). Llegado este punto es necesario hacer explícita una de las características esenciales de la epistemología científica como es la búsqueda intencionada de explicaciones unitarias o universales a los fenómenos naturales (Martínez Torregrosa, Doménech

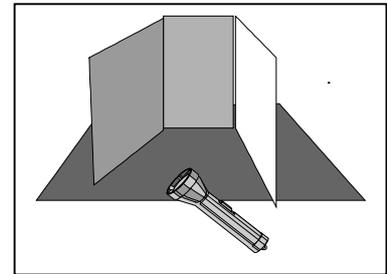
y Verdú, 1993; Chalmers, 1992). Todo ello nos llevará a preguntarnos si los objetos que vemos emiten luz, como la bombilla, y por eso los vemos. Esa es la intención prevista en la experiencia propuesta en la actividad siguiente.

Algunas actividades de introducción de conceptos y elaboración del modelo

A.5 Citad observaciones habituales que puedan sugerir que los objetos que son iluminados, emiten a su vez luz. Diseñad experiencias sencillas realizables en el aula que contrasten esta hipótesis anotando e interpretando las observaciones.

A.6 Explicad cómo es posible que una habitación se ilumine un día nublado cuando se abre una ventana orientada al norte.

Animando, recogiendo y matizando las propuestas de los alumnos podemos sugerir la realización de la experiencia que se muestra en la figura en la que con una linterna y un grupo de cartulinas, así dispuestas, podemos observar que la cartulina blanca se ilumina con el tono del color de la cartulina la que apunta la linterna.

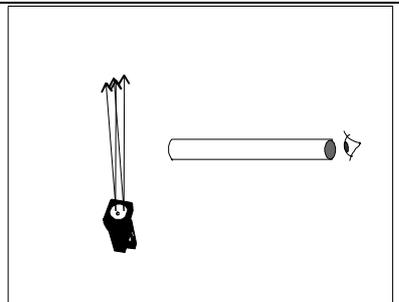


Esta experiencia ha sido descrita por Viennot y Chauvet, (1997) con la intención de “convencer” a los alumnos de que una pantalla iluminada (si no es perfectamente negra) difunde algo de luz. La estrategia propuesta es, pues, permitir a los alumnos observar que la pantalla blanca enfrentada a una roja se colorea con un tono rojo cuando la primera recibe luz “blanca”. Si la cambiamos por otra verde, el color de la segunda se vuelve verde y este efecto se intensifica por la percepción del contraste sucesivo. Dada la tendencia común a interpretar el área iluminada en la pantalla en términos de un impacto de luz, de la situación cabe esperar que se facilite la aceptación de que los objetos iluminados emiten luz y pueden ser considerados, por tanto, como fuentes secundarias de luz. La observación de la cartulina blanca iluminada por la luz difundida suele ser expresada en el lenguaje de los alumnos con frases como: “*la luz de la linterna ha rebotado en la cartulina de color y ha llegado a la otra*”. Debemos llamar la atención, entonces, sobre el tono de color que observamos que no es el de la luz de la linterna, sino que es el de la cartulina donde impacta su luz. Por otro lado,

para diferenciar la luz difundida de la luz reflejada, podemos sustituir la cartulina por un espejo plano y considerar las diferencias. La luz difundida alcanza a toda la cartulina blanca, con más o menos intensidad, por lo que la luz emitida por los objetos iluminados no tiene una sola dirección de propagación. Sin embargo, la luz reflejada en el espejo sólo ilumina la cartulina blanca en una zona circular perfectamente delimitada de la misma, por lo que la idea que suele ser expresada como "rebote" está más en concordancia con el fenómeno observado en la reflexión especular y no con el de la reflexión difusa. Estas precisiones serán, por el momento, suficientes para el objetivo perseguido, aunque los aspectos de la visión del color y de la reflexión especular serán objeto de estudio en actividades posteriores.

A.7 *¿En base a qué experiencias podríamos probar que el ojo, en el proceso de visión, no emite nada con la mirada?*

A.8 *Cuando miramos a través de un tubo, como indica el esquema, hacia la luz que emite una linterna sólo vemos la pared de enfrente. Sin embargo, si en las proximidades de la linterna echamos el humo de un papel recién apagado, podemos ver unas "estelas" de luz. Realizad la experiencia y contestad las cuestiones: ¿se ve la luz?, ¿qué es lo que vemos realmente?, ¿qué representan los rayos de luz?*



A.9 *Citad fenómenos habituales que puedan interpretarse como consecuencia de la propagación rectilínea de la luz*

Estas actividades permiten clarificar el concepto de rayo de luz, como una invención para representar la propagación de la luz en una dirección que no tiene entidad real, ni es visible, podemos probar si su trayectoria es realmente recta, con la formación de sombras.

La utilización de procesos cognitivos de inducción simple como éstos, puede llevar a la idea errónea o incompleta del proceso de construcción de la ciencia utilizado, pero en la unidad didáctica existe otra variedad de actividades y de situaciones con un estatus epistemológico diferente para compensar este posible efecto negativo. Por otra parte no es posible que los estudiantes puedan alcanzar una concepción de la ciencia, desde el punto de vista epistemológico, completa en un curso de iniciación a la física como éste (estamos comentando lo que hemos hecho con los alumnos de 3º ESO).

Cabe resaltar que este tipo de razonamiento coincide con el usado por Alhacen (Iizuka, 1983) en contra del “fuego visual” defendido por algunos filósofos griegos cuando argumentaba *“que el grado de oscuridad y color de un objeto cambia en concordancia con la iluminación, y si los rayos visuales fueran los responsables de la visión, entonces la visión no debería estar influida por condiciones externas”*.

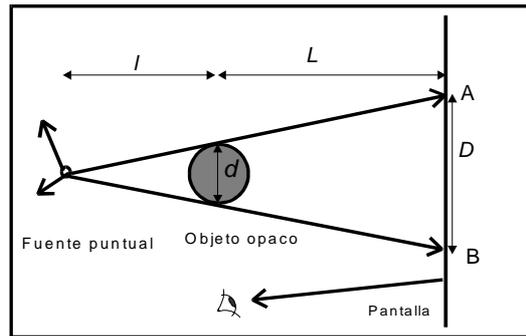
Otro aspecto importante que es necesario tratar para elaborar un modelo sobre como vemos con suficiente poder explicativo, es el tratamiento geométrico de la luz. No podemos suponer que los alumnos disponen de un esquema de representación geométrico e idealizado de la luz como el utilizado por los científicos para interpretar los fenómenos luminosos. La investigación didáctica sobre el tema y de nuestras propias investigaciones hemos deducido que los alumnos piensan que la propia luz es visible y hemos obtenido esquemas alternativos para explicar la formación de una sombra en una pantalla cuando se ilumina un cuerpo opaco con una fuente luminosa. En algunos de ellos los estudiantes pueden predecir la forma y el tamaño de la sombra sin necesidad de recurrir a trazados geométricos de propagación de la luz.

En la actividad siguiente tratamos este último aspecto a partir del recurso del conflicto cognitivo que supone concebir la sombra a partir de alguno de estos esquemas y la sugerencia de usar las consecuencias que se derivarían de la aplicación estricta de la hipótesis de propagación rectilínea de la luz. Se trata de un claro ejemplo de cómo el estudio empírico de los obstáculos previstos a partir del estudio histórico y epistemológico permiten detectar razonamientos espontáneos y, también, diseñar actividades adecuadas para cuestionarlos.

A.10 *Iluminando un cuerpo opaco con una fuente luminosa puntual podemos ver una sombra sobre una pantalla situada detrás de él, ¿qué forma tendrá la sombra? ¿qué tamaño tendrá? Diseñad y realizad una experiencia para probar vuestras hipótesis y dibujad diagramas de rayos explicativos*

La experiencia se puede hacer oscureciendo el aula y utilizando materiales sencillos. Como fuente puntual utilizamos una pequeña lámpara de linterna (3 V, 0,3 A) con un portalámparas estándar conectado a una pila de 4,5 V (conocida como “pila de petaca”). Los bornes de la pila de petaca permiten hacer la conexión al portalámparas directamente sin necesidad de cables ni conexiones engorrosas.

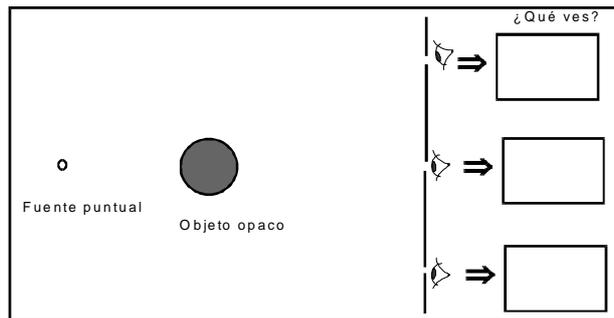
Los alumnos pueden probar que alejando o acercando la fuente luminosa se obtienen tamaños de sombra menores o mayores respectivamente. Si la luz se propaga en línea recta en todas las direcciones partiendo de la fuente puntual, la forma de



la sombra será la del perfil del objeto que se enfrenta a la fuente luminosa podremos verificar que los valores de las distancias del objeto y de la sombra a la fuente y los tamaños de ambos cumplen el teorema de Tales de los triángulos semejantes:

$$\frac{D}{d} = \frac{L}{l}$$

Dado que la estrategia que hemos diseñado para construir un modelo de visión pasa por necesidad de disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado para luz, las actividades diseñadas intentan



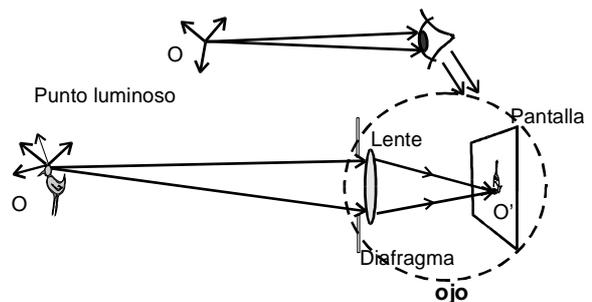
salir al paso de aquellas experiencias, como la que aparecen en la mayoría de los libros de texto, de “materialización” del rayo de luz (Chauvet et al., 1999; Hirn y Viennot, 2000). Nos estamos refiriendo a aquellas experiencias en las que debido a la difusión de las partículas de polvo se hace “visible” un haz de luz, o aquellas otras en las que el haz de luz de una fuente luminosa se hace pasar por una rendija e ilumina una estrecha porción de la mesa que suele ser interpretada como la “trayectoria” de la luz. Recordemos que tenemos evidencias suficientes para pensar que los alumnos creen que la propia luz es visible y que el rayo de luz es la zona donde vemos las partículas de polvo iluminado y no un concepto ideal que únicamente representa los límites del haz de luz emitido por cada fuente puntual que se está considerando en cada representación.

Por otro lado, dado que la hipótesis de la propagación rectilínea de la luz y su representación geométrica la estamos probando en el contexto de la construcción de un modelo de visión humana, llegado este punto se puede sugerir a los alumnos que predigan qué verían si en la pantalla donde se ve la sombra se hicieran pequeños agujeros en distintas zonas y miraran a través de ellos (figura anterior). Resulta sorprendente su resistencia a aceptar la visión como un fenómeno que se produce al incidir luz en el ojo procedente de una fuente luminosa (primaria o secundaria). Cuando miran desde el agujero central (el que corresponde a la zona de sombra), suele ser habitual encontrar, todavía, respuestas en las que los alumnos predicen que verán el cuerpo, incluso cuando se les avisa que la única fuente de luz es la señalada y que el cuerpo, las paredes y la pantalla son negros. Al mirar desde las otras posiciones, algunos alumnos, también predicen que verán "luz". La observación que fácilmente se puede realizar a continuación y la discusión que le sigue, nos puede permitir modificar las ideas de algunos alumnos todavía reticentes a modificar la idea alternativa de que "es suficiente mirar para ver".

Actividades de puesta a prueba del modelo de visión

En el modelo de visión de

Képler (1604), que hemos venido construyendo hasta aquí, el ojo es modelizado como un sistema óptico formado por una lente y una pantalla y permite explicar cómo vemos los objetos directamente. Este



modelo supone que en la retina se forma una representación del objeto, llamada imagen óptica, con la que se percibe la forma y el tamaño de los objetos que vemos. Para que se forme esta imagen, un haz divergente de luz emitido desde cada punto del objeto debe entrar en el ojo y, después, converger en cada punto de la imagen óptica formada en la retina. Este modelo deberá ser puesto a prueba para explicar la visión indirecta de los objetos, esto es, cuando los vemos al mirar a un espejo, cuando están sumergidos en agua, al mirarlos a través de lentes, etc.

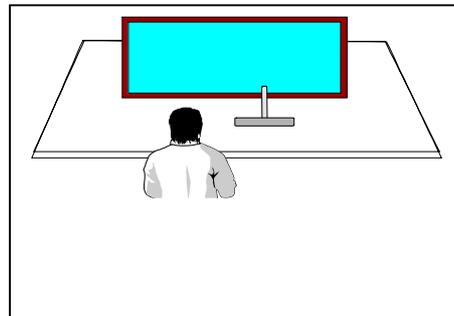
Aunque este modelo explica bien la formación de imágenes en visión directa o en una pantalla debemos someter a pruebas su validez en situaciones distintas a las que hemos utilizado para su elaboración.

Cuando miramos a un espejo o a través del agua, vemos los objetos de un modo diferente que cuando lo hacemos directamente. ¿Podemos explicar estas diferencias con el modelo de visión que hemos elaborado?

Una vez planteada la cuestión, es necesario familiarizar a los estudiantes con lo que ocurre al mirar a un espejo plano. La actividad **A.27** está diseñada para familiarizar a los estudiantes con algunas observaciones como el mirar a un espejo plano, en **A.28** se les sugiere la formulación de una hipótesis acerca del comportamiento de la luz que explique la observación realizada y que sea coherente con el modelo de visión elaborado hasta ese momento, en **A.29** se valora la validez de la hipótesis al intentar explicar algunas de las observaciones realizadas inicialmente.

A.27 Explorad la visión de los objetos al mirar a un espejo plano. Utilizad, para ello, un espejo plano que dejaremos fijo en la mesa y un pequeño objeto que podremos situar en distintas posiciones. Anotad los resultados de las observaciones siguientes:

- ¿Dónde parece estar el objeto cuando lo miramos a través del espejo?
- Situando el objeto enfrente del espejo, ¿desde qué posiciones es visible? Haced un esquema donde se representen estas posiciones.
- ¿Varía el tamaño al mirar al objeto a través del espejo?
- ¿Varía la posición de lo que vemos al variar nuestra posición?



A.28 De acuerdo con el modelo de visión que hemos elaborado, vemos cuando un haz divergente de luz procedente de cada punto del objeto entra en el ojo y éste funciona bien, es decir, forma una imagen en la retina. Formulad una hipótesis que explique cómo vemos un objeto puntual, O, al mirar a un espejo plano. Es decir, que explique:

- ¿Cómo llega la luz procedente del objeto hasta el ojo si está mirando al espejo?
- ¿Por qué parece que veamos el objeto como si estuviera situado detrás del espejo.
- Completad el diagrama a partir de la hipótesis.

A.29 Las observaciones realizadas al mirar a un espejo plano han revelado, además, que la imagen que vemos no cambia de posición al cambiar la posición del observador. A partir de la hipótesis de la reflexión de la luz, realizad un diagrama de rayos que explique esta observación.

Llamamos la atención de que según la "lógica problematizada" de la unidad didáctica, nuestra intención es resolver el problema de la visión indirecta, por lo que el estudio de la reflexión de la luz en los espejos planos se hace de forma subordinada al problema de la visión. Las leyes de la reflexión no se introducen, por ello, como consecuencias empíricas de determinada concepción sobre la naturaleza de la luz, sino como hipótesis lógicas que refuerzan el modelo de visión y le confieren consistencia y aplicabilidad. No es éste, sin embargo, el proceso seguido en la enseñanza habitual.

Se recomienda hacer la **A.27** de simple exploración del fenómeno ya que diferentes autores (Goldberg y McDermott, 1986; Galili y Hazan, 2000_a y 2000_b) han mostrado que, después de la instrucción habitual, los estudiantes suelen pensar que la imagen se localiza en la superficie del espejo, que la posición de la imagen depende de la posición del observador, y que una imagen "ya hecha" se desplaza desde el objeto hasta el espejo donde permanece para ser vista. Osuna (2004) muestra que los estudiantes pueden poseer una concepción compatible con el modelo de Képler en visión directa y utilizar ideas alternativas para explicar la visión indirecta. No se pretende que las observaciones sugeridas en esta actividad sean por sí solas suficientes para cambiar las ideas espontáneas citadas anteriormente, se trata, más bien, de remarcar aquellas que han sido reconocidas como conflictivas y hacerlas explícitas a la hora de enfrentar a los alumnos a emisión de hipótesis explicativas de la visión indirecta (**A.28**)

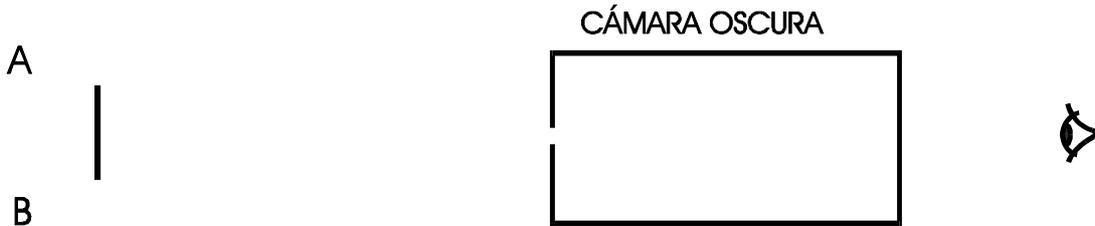
Aquí, como en las experiencias de propagación de la luz y para este nivel de enseñanza, huiremos de los diseños experimentales en los que se "materializa" el rayo de luz, como cuando se ilumina una estrecha franja de la mesa o se iluminan las partículas de polvo ante un haz de luz láser, ya que pueden reforzar ideas espontáneas que la investigación educativa ha mostrado fuertemente arraigadas en el pensamiento de los adolescentes.

Actividades que permiten el diseño de prototipos

En este tema podemos abordar diseños de instrumentos ópticos sencillos que nos permitan poner a prueba los conocimientos adquiridos. Algunos de estos prototipos pueden ser desde un telescopio sencillo a un periscopio, unas gafas,

etc. En estas edades el poder construir, manipular, plasmar los conocimientos conseguidos en el aula en realidades físicas, favorece la implicación de los alumnos.

A.17 Construir una cámara oscura y explicar cómo se obtiene esa representación. ¿Por qué no podemos denominar imagen óptica a la representación así obtenida en la pantalla?



Es fácil realizar la cámara oscura con una caja de zapatos con un pequeño orificio en uno de los extremos y otro en el otro, un poco mayor. En medio de la caja se puede poner un trozo de papel de "cebolla" que nos permitirá "ver" mejor.

Otros instrumentos que se pueden construir son prototipos que simulen el ojo humano (lente y pantalla) e instrumentos como la cámara fotográfica, un periscopio o un telescopio.

El ojo humano permite ver nítido (formar una imagen en la retina) para diferentes distancias del objeto sin variar la posición de la pantalla (retina). Profundizar en este modelo de visión para con él predecir distintos comportamientos y diseñar instrumentos ópticos supone poder determinar cuantitativamente las distancias del objeto a la lente y de la pantalla a la lente para cada tipo de lente, incluso, el poder de convergencia de la lente a utilizar.

A.31 Una cámara fotográfica consiste esencialmente en una lente convergente (objetivo) y una pantalla (la película fotográfica). Explicad: a) Cómo puede obtener fotos nítidas cuando los objetos se sitúan a distintas distancias. b) Cómo funciona el diafragma y que papel desempeña.

A diferencia de la cámara fotográfica, el ojo humano no puede separar la lente de la pantalla para ver nítidos los objetos cercanos. El cristalino del ojo, sin embargo, es una lente no rígida que mediante un mecanismo involuntario puede variar su forma, aumentando la curvatura y también su poder de convergencia.

A.32 Utilizando dos lentes convergentes de distinta potencia, una pantalla y una fuente luminosa simulad el comportamiento del ojo humano para "enfocar" objetos a distintas distancias. Realizad las experiencias oportunas y dibujad los diagramas de rayos representativos de las situaciones

Las experiencias constatan que si usamos, por ejemplo, una lente de distancia focal $f = 100 \text{ mm}$ y la fuente muy alejada, la pantalla debe situarse a 100 mm . Sin

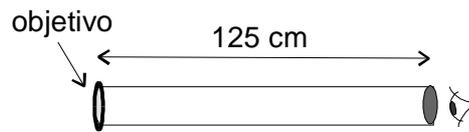
modificar esta distancia pero cambiando la lente por otra de $f = 50$ mm, podemos acercar la fuente hasta una distancia de 50 mm para seguir viendo nítida la imagen en la pantalla. El tamaño de la imagen que vemos y su luminosidad, sin embargo, son distintos. Es posible realizar una simulación de ojo con una "lente" que se pueda llenar de agua (más o menos llena tendría más o menos concavidad, y por lo tanto distancia focal) y una pantalla de plástico.

Otro de los instrumentos que los alumnos pueden construir son periscopios sencillos con cajas de cartón y espejos.

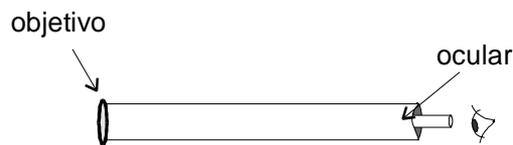
El telescopio es una aplicación tecnológica de gran impacto social y científico que fue desarrollada como consecuencia del modelo de visión de Képler. A partir del siglo XVI el telescopio fue una herramienta de uso habitual en el campo militar y en el científico, sobre todo en astronomía. Sin embargo, al principio, su aceptación tuvo dificultades ya que las observaciones que se hacían con él cuestionaban las teorías del Universo hasta entonces aceptadas. Por otro lado, la ausencia de un modelo de visión que explicara su funcionamiento, hacía que se desconfiara de lo que no era visto a "simple vista".

En síntesis, el telescopio de Képler consiste en un sistema de dos lentes convergentes: la primera de ellas, el objetivo, es una lente convergente casi plana. Esta lente al tener poco poder de convergencia formaría, de un objeto alejado, una imagen de gran tamaño en una pantalla alejada. Una lente de 1 dioptría, que es una lente habitual en la corrección de la visión, formaría la imagen de un objeto alejado a 1 m de distancia y una lente convergente de 2 dioptrías a 0'5 m de distancia. La imagen formada por esa lente se puede ver sin pantalla si situamos el ojo detrás de ella en la dirección de propagación de la luz.

A.49 Pega una lente convergente de una dioptría en el extremo de un tubo de cartón del mismo diámetro de la lente y de una longitud de algo más de un metro. Sitúa el ojo en la posición del esquema y comprueba las características de la imagen que ves al mirar a un objeto lejano



Para ver con mayor aumento esa imagen, podemos mirarla con una lupa. Se puede obtener una buena lupa extrayendo la lente de una cámara fotográfica desechable. Estas lentes son de unas 33 dioptrías y tienen el foco a unos 3 cm. Para que esta lente, que denominaremos ocular, funcione como lupa, la imagen obtenida con el objetivo debe estar situada a menos de 3 cm del ocular, esto es, la imagen del objetivo será el objeto que veremos con el ocular. Podemos ajustar las distancias o enfocar, montando el ocular en un tubo de diámetro más pequeño que se pueda mover hacia delante y hacia atrás dentro del otro tubo.



Este tipo de actividades permite poner a prueba los conceptos introducidos y llevar a cabo prototipos sencillos que los alumnos valoran positivamente.

En el siguiente ejemplo nos centraremos en la planificación problematizada de una gan síntesis: la síntesis newtoniana.

3.3 Ejemplo 3: La planificación de la estructura problematizada de una gran síntesis: “la Mecánica Newtoniana” (Cinemática y Dinámica).

Como hemos señalado al hablar de la introducción de conceptos, modelos y teorías, en el apartado 2.2 del capítulo anterior, uno de los criterios para hablar de avance en el pensamiento científico es la universalidad. De hecho, Chalmers (1992) basa su defensa de la ciencia ante los filósofos relativistas y positivistas en que se puede valorar el avance de la ciencia, más que mediante la bondad de un determinado método, utilizando como criterio sus finalidades: la búsqueda de universalidad y la mejora continua. La Historia de la Ciencia puede completarse como una sucesión (en ocasiones no lineal, es decir, con cambios sustanciales en las ideas) de avances en que un campo cada vez más amplio se entiende con un número menor de principios independientes.

En los temas presentados anteriormente, los alumnos tienen oportunidad de (re)construir teorías con suficiente poder explicativo para poderlas utilizar funcionalmente, dando sentido a fenómenos que forman parte de su experiencia (las estaciones del año, cómo vemos al mirar directa o indirectamente a los objetos), y en ese proceso ponen en práctica criterios como “coherencia”, “capacidad predictiva”, “elaboración de instrumentos”... Pero es en la construcción de las grandes síntesis, como en la explicación unitaria del “movimiento de todas las cosas”, donde pueden percibir la búsqueda de universalidad que caracteriza a la ciencia, y su gran éxito.

Es verdad que en todos los campos de conocimiento fisicoquímico ha habido que superar barreras conceptuales y que los avances se han producido mediante ideas cualitativamente diferentes de sus antecesoras. Pero, como trataremos de probar más adelante, ninguna de esas barreras (en la ciencia clásica) ha tenido la entidad (por su carácter conceptual, metodológico, ontológico y por su influencia sobre el pensamiento humano) de las que fue necesario superar para llegar a una concepción universal del movimiento de todos los cuerpos.

Una primera adquisición del estudio histórico-epistemológico de la evolución de las ideas mecánicas han sido nuestras respuestas a “¿cuál es el problema que está en el origen de los conocimientos que nos gustaría que adquirieran nuestros alumnos?” y a “¿cuáles fueron las grandes ideas que permitieron avanzar, y cuáles los grandes obstáculos a superar?” Presentaremos, brevemente, dichas respuestas con el fin de contextualizar los fragmentos que comentaremos posteriormente. En el Anexo I, se encuentran más detalles fruto de la planificación realizada.

En primer lugar, es necesario tener en cuenta que la cuestión de “por qué se mueven las cosas de una u otra forma” aparece en la Antigua Grecia y es el punto central de la física aristotélica que afirma y subraya lo obvio: los objetos de distinta naturaleza se mueven de forma distinta. Para Aristóteles, el material de que está hecho el objeto que se mueve es la causa de su forma de moverse, pues cada material tiene una forma determinada y característica (tendencia natural) de movimiento. Así, Aristóteles basa su mecánica en que los cuatro elementos que al mezclarse dan lugar a todos los materiales existentes (tierra, agua, aire y fuego) tienen un movimiento “natural” propio hacia su “lugar natural”. El humo va hacia arriba porque es una mezcla de aire y fuego; las piedras caen por estar formadas principalmente por tierra cuyo “lugar natural” es el centro del Universo, lo más abajo posible. Cualquier movimiento de un objeto que lo aleje de su “lugar natural” no puede ser más que un movimiento “violento” que terminará extinguiéndose por la imposición del movimiento hacia el lugar natural del objeto (una piedra lanzada hacia arriba va cada vez más lenta hasta que se “gasta” el movimiento violento y se impone el natural; el humo puede ir momentáneamente hacia abajo, pero terminará yendo hacia arriba, su lugar natural). Todo movimiento de los objetos terrestres termina, pues, en el reposo, en el lugar natural de dichos objetos. La situación es drásticamente distinta para los astros, cuyo movimiento no tiene principio ni final, sino que es circular y eterno. Incluso el movimiento de los astros “errantes” (planetas), con trayectorias extrañas, debía ser fruto de una combinación geoméricamente adecuada de movimientos circulares. De ello se deduce que fueran cuales fueran las leyes naturales, debían ser distintas para los objetos terrestres o “sublunares” y los celestes o “supralunares”. Se erige así la barrera entre el mundo terrestre y el celeste.

Tomás de Aquino (siglo XIII) unió la física y astronomía aristotélica con la teología cristiana, dando lugar a un cuerpo de conocimientos donde desaparecía la diferencia entre física, astronomía y teología, de manera que, durante siglos, no parecía posible poner en cuestión una de ellas sin atacar a las otras.

En cambio, en el extremo opuesto –donde queremos que lleguen nuestros estudiantes- tenemos la mecánica newtoniana que, epistemológicamente, es una concepción unificadora del movimiento de todas las cosas y de las causas que hacen que sea de una u otra forma. La concepción newtoniana de fuerza (“los principios de la Dinámica”) y su hipótesis de la existencia de una fuerza atractiva entre todos los cuerpos (la Gravitación Universal) transforma las obvias diferencias entre el movimiento de los objetos en producto de “circunstancias” diferentes (condiciones iniciales, fuerzas de empuje, de rozamiento,...), explicando de idéntica manera el movimiento de la Luna que el de una piedra lanzada oblicuamente. La naturaleza del objeto no importa, sino su masa y las interacciones en las que participa. Podemos hacer que una piedra se mueva como la Luna o que una pluma caiga como un trozo de plomo. Lo que se consigue con ella, la esencia de su éxito, es tratar con los mismos conceptos, explicar de la misma forma, el movimiento de una pluma, de una piedra o el de la Luna, por supuesto, mediante hipótesis que han superado –durante bastantes siglos- las pruebas más exigentes (desde la confirmación de sus predicciones hasta el desarrollo de una enorme multitud de aplicaciones prácticas).

Las ideas que supusieron *pasos decisivos, grandes avances*, en el inmenso salto que separa la mecánica aristotélica de la newtoniana (además del drástico cambio metodológico) según el estudio que hemos realizado son las siguientes:

- a) Estudiar el movimiento de los objetos ignorando su naturaleza, imaginándolos como puntuales, convirtiéndolos en “*objetos teóricos*” lo que hace posible su “matematización” (como en los trabajos de Galileo sobre el péndulo) (Matthews, 1994_a). Esto supuso un paso esencial frente a la teoría aristotélica, que asociaba el tipo de movimiento a la naturaleza de los objetos y *frente al empirismo*, iniciando una nueva forma de producir conocimientos (Mason, 1985).

- b) La invención de magnitudes para caracterizar y distinguir unos movimientos de otros, de un modo operativo *sin tener en cuenta la composición material del objeto que se mueve*. La idea, en particular, de composición de movimientos rectilíneos para explicar las trayectorias curvilíneas (la invención de magnitudes vectoriales).
- c) La sustentación de la idea de que el reposo o el m.c.u., (como creía Galileo) era el estado natural de los cuerpos por la idea de que no era posible distinguir entre reposo y m.r.u. Esto equivale, de hecho, a la concepción cualitativa de que no hace falta que se ejerza una fuerza sobre un cuerpo para que esté en reposo o en m.r.u. y si, para que esté con cualquier otro movimiento. Se trata de la superación de la teoría aristotélica-escolástica del "ímpetus".
- d) La idea de que los cuerpos no pueden acelerarse a sí mismo, si no que debe haber una interacción entre dos cuerpos para que se produzcan cambios en la velocidad.
- e) La comprensión de que para producir un m.c.u. no se requiere una fuerza "hacia fuera del centro" sino, hacia el centro. Esto orientó la atención hacia la influencia fundamental del cuerpo central (p.e., en el sistema Tierra-Luna). El análisis centrífugo había centrado la atención en el cuerpo que da vueltas, cuya tendencia a apartarse del centro parece no tener nada que ver con el cuerpo central (Cohen, 1982).
- f) La hipótesis de la existencia de interacción a distancia, es decir, de que es posible que dos cuerpos se ejerzan fuerzas sin tocarse. Dicha hipótesis permitió superar la barrera existente entre el movimiento de cuerpos celestes como el de la Luna o el de caída de los cuerpos (que no interaccionan de modo evidente con otros) y el de los cuerpos terrestres (que interaccionan de forma evidente con otros cuando cambian su movimiento). La inverosímil idea de existencia de fuerzas entre cuerpos sin "contacto" debido a una propiedad universal, la masa, hizo posible una concepción unitaria del movimiento de todas las cosas, una explicación de cualquier movimiento basada en los mismos, y pocos, conceptos.

Por supuesto, el éxito de la mecánica se fue afianzando a medida que se puso a prueba su enorme capacidad predictiva en la solución de situaciones problemáticas reales, de interés (ingeniería, mareas, Sistema Solar, posiciones de los astros,...), y ampliándose las aplicaciones de sus concepciones básicas a otros campos como el de las fuerzas que ejercen y transmiten los fluidos.

Los obstáculos previsibles para que los alumnos se apropien de esas grandes ideas los hemos extraídos tanto de la historia, como de nuestra experiencia docente y del estudio de la abundante bibliografía existente sobre ideas espontáneas de los estudiantes (Carrascosa, 1983 y 1985; Furió, 1996; Pfundt y Duit, 1994, 1998 y 2004; Gil y Carrascosa, 1992; ...) que revela que la mecánica es la parte de la física en dónde son más abundantes y resistentes al cambio, incluso cuando se aplican estrategias específicamente diseñadas para que los alumnos las superen. Para evitar esquematismos, en el anexo I se describen algunos de los obstáculos para alcanzar las metas parciales.

Buena parte de este trabajo puede basarse en resultados ya clásicos en la investigación didáctica, ya que la historia de la ciencia ha sido una fuente de primer orden para orientar la investigación de la enseñanza de la misma (Gil, 1992). En algunas ocasiones, en cambio, se requieren análisis originales para contrastar la existencia de barreras e identificar los razonamientos que las acompañan. Precisamente una aportación de esta forma de planificar es que permite predecir obstáculos y someter a prueba empírica su existencia y persistencia, *ligando la investigación sobre ideas y razonamientos espontáneos al desarrollo de los temas, de las secuencias de actividades para el aula (I+D)*

En efecto, el breve resumen hecho sobre la mecánica, se deduce que la creencia de que el comportamiento de los cuerpos celestes (de su movimiento) era esencialmente distinto del de los cuerpos en la superficie terrestre ha sido una constante en el pensamiento humano, cuya superación ha costado siglos (Cohen, 1982, 1987 y 1989; Mason, 1986; Koyré, 1979 y 1980; Brown, 1988; Butterfield, 1958; Holton, 1976; Holton, Rutherford y Watson, 1982; Einstein e Infeld, 1939; Mathews, 1994_a, Rioja y Ordóñez, 1999,...). Resulta, por tanto, muy difícil admitir que alguien pueda concebir que la nada intuitiva concepción newtoniana de fuerza

sea más fructífera que la espontánea si no es consciente de la gran unificación a que dio lugar dicha invención. Mientras las personas sigan viendo "asimetrías esenciales" entre el movimiento de los astros y de los objetos en el suelo, mantendrán una mecánica de "sentido común", semejante en lo básico a la aristotélica-escolástica. Inversamente, el conocimiento de las ideas y razonamientos que utilizan las personas para justificar dicha asimetría sería muy útil para elaborar secuencias de actividades que permitan debilitar las concepciones espontáneas.

De este análisis se deduce, por ejemplo, la conveniencia de indagar empíricamente sobre si las personas aceptan la existencia de la barrera Cielo/Tierra, o entre el movimiento de una piedra y un globo con gas, y el tipo de razonamiento en que se apoyan.

Deseamos resaltar que nuestro interés no se ha dirigido a comprobar qué es lo que piensan los alumnos sobre el movimiento de un objeto lanzado al aire, de la Luna o de un globo de gas, algo que ya ha sido muy estudiado, sino en qué medida los alumnos que han recibido instrucción sobre la mecánica se han apropiado de la idea central de la misma: la explicación unitaria, universal, de cualquier movimiento. Y, en caso en que no se hayan apropiado, qué tipo de razonamientos utilizan que les impide que esa idea pase a formar parte de su forma de pensar (¿qué ideas les impide ver idénticos el movimiento de la Luna, de una piedra lanzada al aire y de una molécula de un gas?).

Presentamos –como ejemplo de la potencialidad del proceso de planificación de estructuras problematizadas– cómo hemos realizado dicho estudio y los resultados encontrados durante más de diez años. En este caso, solo se trata de un estudio de un aspecto parcial. En las Tesis sobre temas específicos finalizadas o en desarrollo [López-Gay, 2002; Martínez Sebastiá, 2003 y Osuna (en desarrollo)], se encuentran el estudio empírico completo para confirmar los obstáculos predichos y los razonamientos en que se apoyan.

3.3.1. Ejemplo del estudio empírico de interés generado por la forma de planificar la estructura de los temas y cursos: ¿existe la barrera Cielo/Tierra?

Para probar que dichos obstáculos forman parte del pensamiento de los alumnos, e incluso de profesores en formación y en activo, y los razonamientos que los sostienen, hemos elaborado un instrumento formado por tres cuestiones abiertas donde se plantean situaciones que facilitan que aparezcan las posibles barreras o asimetrías que puedan tener.

Las cuestiones han sido las siguientes:

- a) *Indica semejanzas y diferencias entre el movimiento de un astronauta fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra, y el de una persona que se ha lanzado desde un avión (Sé tan preciso como puedas, escribe, dibuja, ...)*
- b) *Según la Ley de la gravitación Universal, $F = (G.M.m)/r^2$, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde una cierta altura sobre el suelo, es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?*
- c) *Análogamente, la Tierra atrae también a las moléculas de los gases que forman el aire, ¿por qué no terminan todas apiladas en el suelo?*

Las dos primeras cuestiones (la última fue considerada excesiva para alumnos de Bachillerato, tras la prueba piloto) se han pasado a alumnos de 3º BUP, COU, Física General del primer curso de CC Químicas y Mecánica de segundo curso de CC Químicas inmediatamente después de haber acabado la mecánica. Tras los elevadísimos porcentajes de respuestas erróneas y la coincidencia de los resultados durante dos cursos, decidimos pasarlas (las tres) a profesores en formación, licenciados en Químicas, Físicas e Ingeniería, que cursaban el CAP en la Universidad de Alicante y a profesores de Física y Química en activo que participan en cursos de formación.

La red para el análisis de las respuestas ha sido la siguiente:

Cuadro 3.1 Red de análisis de las respuestas a las cuestiones abiertas

<p>a) Indica semejanzas y diferencias entre el movimiento de un astronauta fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra, y el de una persona que se ha lanzado desde un avión (Sé tan preciso como puedas, escribe, utiliza dibujos, ...)</p>	
<p><i>Se considerará respuesta correcta:</i></p> <p>Cuando consideren como movimientos dinámicamente idénticos, cuyas diferencias sólo son debidas al valor y dirección de la velocidad y la fuerza</p>	
<p><i>Se considerarán respuestas incorrectas:</i> Todas las que consideran que existen diferencias esenciales:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Todas las que intentan anular la fuerza resultante sobre el astronauta (pero no sobre el paracaidista): <ul style="list-style-type: none"> - No es atraído, la gravedad no llega, no pesa; está en equilibrio o “flotando” (pero el paracaidista no); está muy lejos;.. • Sólo escriben diferencias: el astronauta no cae, el paracaidista sí;... 	
<ul style="list-style-type: none"> • No contesta; - Otra: 	
<p>b) Según la Ley de la gravitación Universal, $F=(G.M.m)/r^2$, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde una cierta altura sobre el suelo, es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?</p>	
<p><i>Se considerará respuesta correcta:</i></p> <p>Cuando consideren que se trata de movimientos dinámicamente idénticos, cuyas diferencias sólo son debidas al valor y dirección de la velocidad y la fuerza</p>	
<p><i>Se considerarán respuestas incorrectas:</i> Todas las que consideran que existen diferencias esenciales:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Todas las que intentan anular la fuerza resultante sobre la Luna (pero no sobre la piedra): <ul style="list-style-type: none"> - No es atraída, la gravedad no llega, no pesa; la distancia Luna-Tierra es muy grande (“está al cuadrado y, por tanto, la fuerza de atracción es muy pequeña”); está en equilibrio (fuerza centrífuga; atracción de otros planetas; principio acción-reacción).. • La Luna “se resiste” debido a su gran masa • Sólo escriben diferencias 	
<ul style="list-style-type: none"> • No contesta; - Otra 	
<p>c) Análogamente, la Tierra atrae también a las moléculas de los gases que forman el aire, ¿por qué no terminan todas apiladas en le suelo?</p>	
<p><i>Se considerará respuesta correcta:</i></p> <p>Se mueven con velocidad elevada, con una aceleración de la gravedad y golpean el suelo rebotando y chocando entre ellas</p>	
<p><i>Se considerarán respuestas incorrectas:</i> Todas las que consideran que existen diferencias esenciales:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Todas las que intentan anular la fuerza resultante sobre las partículas: <ul style="list-style-type: none"> - No es atraída, la gravedad no llega, no pesa; su masa es pequeña; está en equilibrio (fuerza de repulsión entre las moléculas;... - Mencionan la velocidad pero también que su masa es pequeña • Sólo escriben diferencias 	
<ul style="list-style-type: none"> • No contesta; - Otra: 	

Para mostrar con más claridad el posible uso sesgado de factores como la masa en razonamientos para justificar las barreras o asimetrías, en el caso de profesores en formación y en activo las anteriores cuestiones han ido acompañadas de otra cuestión cerrada sobre la influencia de la masa en una situación macroscópica habitual:

Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. Suponiendo que no hubiera rozamiento, ¿cuánto tiempo tardaría otro de doble masa, dejado caer desde la misma altura?

a) 2 s; b) 1 s c) 0'5 s d) otra respuesta:-----

Grado de seguridad -----

En la **tabla 3.3 (a)** se muestra el porcentaje de respuestas erróneas en las dos primeras cuestiones, es decir, el porcentaje de encuestados que no perciben el movimiento de ambos objetos como esencialmente idénticos, cuyas únicas diferencias son debidas al rozamiento y al distinto valor de sus velocidades respecto del centro de la Tierra. Por el contrario, como puede verse, la práctica totalidad de los alumnos, profesores en formación y más del 70 % de los profesores en activo piensan, por ejemplo, que la diferencia entre el movimiento de la piedra y de la Luna no es una mera cuestión del valor de la velocidad (y de rozamiento): mientras que casi todos admiten que sobre la piedra no actúa más que su peso, sobre la Luna necesitan introducir otra "interacción" o bien "anular" la atracción gravitatoria. Así, resulta frecuente la "necesidad" de equilibrar la fuerza gravitatoria sobre la Luna o el astronauta para que "no caigan", lo que hacen mediante la "fuerza centrífuga" o por la "atracción de otros astros".

Gráfica 3.3 (a): % de personas que ven diferencias fundamentales entre los movimientos de los cuerpos celestes y terrestres

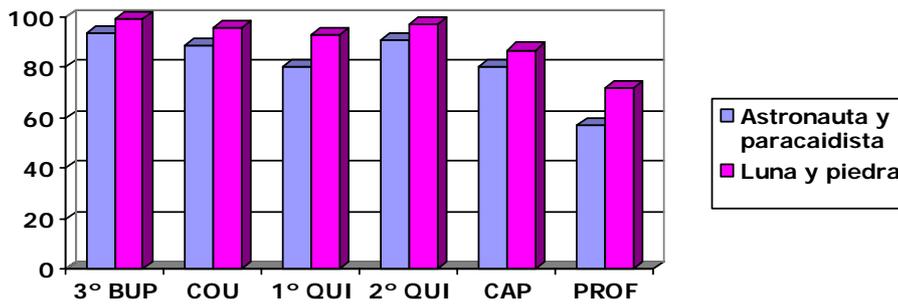


TABLA 3.3 (a). Análisis de las respuestas erróneas sobre la barrera Cielo/Tierra

	3º BUP N=83 % (Sd)	COU N=83 % Sd	1º QUI N=86 % Sd	2º QUI N=35 % Sd	CAP N=409 % Sd	PROF. N=196 % Sd
1ª Consideran que existen diferencias esenciales entre el movimiento del astronauta y el del paracaidista	94 (3)	89 (3)	80 (4)	91 (5)	80 (2)	57 (4)
hacen $F=0$ (o prácticamente cero) sobre el astronauta	58 (5)	60 (5)	57 (5)	83 (6)	63 (2)	29 (3)
2ª Consideran que existen diferencias esenciales entre el movimiento de la Luna y el de una piedra	99 (1)	96 (2)	93 (3)	97 (3)	87 (2)	72 (3)
hacen $F=0$ (o prácticamente cero) sobre la Luna	29 (5)	37 (5)	49 (5)	29 (8)	30 (2)	24 (3)
Hacen que la $F=0$ en una de las dos	73 (5)	78 (4)	66 (5)	89 (5)	67 (2)	43 (4)
Hacen que la $F=0$ en las dos	20 (4)	26 (5)	39 (5)	23 (7)	24 (2)	16 (3)

Pero, es necesario ir más allá, ya que podría pensarse -a pesar de que los encuestados no sienten la necesidad de "compensar la atracción gravitatoria" en el caso de la piedra o la persona que se lanza del avión- que la aparición de fuerzas centrífugas no denota la existencia de una barrera Cielo/Tierra, puesto que dicha idea aparece también en el análisis del movimiento circular de objetos "terrestres" como el de una honda o el de un vehículo en una curva. Por ello, hemos clasificado las respuestas, separando aquéllas que hacen nula o prácticamente nula la fuerza

sobre el astronauta o la Luna sin "compensarla" con otra, es decir, que utilizan argumentos como: "está tan lejos que la gravedad no llega", "no cae porque la fuerza gravitatoria es despreciable", "la persona que se ha lanzado desde el avión es atraída por la Tierra, el astronauta no", .., en definitiva respuestas que nunca admitirían para el movimiento circular de un objeto en la superficie terrestre (ni para un trozo de madera flotando en el agua). Los resultados muestran estos porcentajes (respecto al total de respuestas, no respecto a las respuestas erróneas).

Vemos, pues, que después de la enseñanza de la mecánica, la práctica totalidad de los alumnos creen que existen diferencias esenciales entre el movimiento de los objetos celestes (como un astronauta o la Luna) y terrestres (como una persona que está cayendo desde un avión o una piedra). Además (y más novedoso), más de las tres cuartas partes (excepto en 1er curso de Química, 66 %), creen que el astronauta o la Luna están dando vueltas en torno a la Tierra sin necesidad de que exista una fuerza atractiva alguna, lo que es muy semejante al "movimiento natural" aristotélico.

Los resultados de los profesores en formación y en activo son, cualitativamente, más llamativos: el 87 % de los futuros profesores creen que existen diferencias esenciales entre el movimiento de la Luna y el de una piedra lanzada oblicuamente, y el 63 % (ide 409 licenciados en Química, Física o ingenieros!) creen que el astronauta o la Luna están orbitando en torno a la Tierra sin necesidad de que haya fuerza alguna sobre ellos (ni siquiera compensan la atracción gravitatoria con otra). Los porcentajes de error en los profesores en activo son menores, pero muy elevados: el 72 % (de 196 profesores en activo que participaban en programas de formación) cree en diferencias esenciales entre el movimiento de la Luna y la piedra, y el 43 % admiten que el astronauta o la Luna están orbitando sin necesidad de que se ejerza fuerza alguna sobre ellos.

La tercera de las cuestiones estaba diseñada para mostrar la existencia de diferencias entre el comportamiento mecánico de un objeto como una piedra y el de las moléculas de un gas. Por tratarse de una pregunta compleja, no buscábamos la respuesta correcta, sino en qué medida se utilizaban argumentos que ponen en evidencia que la naturaleza del objeto evocaba en los profesores ideas contrarias a la universalidad de la mecánica de Newton.

Como se ve en la **Tabla 3.3 (b)** prácticamente la mitad de las respuestas incorrectas afirmaban que las moléculas no quedaban apiladas *porque la fuerza que actúa sobre ellas es nula debido a que su masa es muy pequeña*. Es decir, no piensan que desde el punto de vista de la mecánica y la gravitación lo que le ocurriría a la piedra y a una sola molécula sería lo mismo (las moléculas están cayendo exactamente igual que una piedra, con la misma aceleración, g), sino que la secuencia parece partir admitiendo que a una molécula no le puede ocurrir mecánicamente lo mismo que a una piedra (deben estar "flotando"). Estos resultados deben ser contextualizados teniendo en cuenta, además, que los encuestados eran asistentes a cursos de formación en los que previamente se había discutido, como ejemplo de idea espontánea errónea típica en los alumnos, la creencia de que la velocidad de caída de los cuerpos, sin rozamiento, es proporcional a su masa, confrontándola con la idea científica, aparentemente conocida y aceptada por todos los asistentes, de la independencia masa/aceleración en la caída libre de cualquier objeto.

En la **Tabla 3.3 (b)** se muestran los resultados obtenidos en la tercera cuestión. Como podemos apreciar, el 76% de los alumnos del CAP y el 61% de los profesores en activo dan respuestas incorrectas. Para mantener dichas diferencias, utilizan tanto ideas espontáneas erróneas bien conocidas sobre fuerza y movimiento, como otros argumentos que ponen en evidencia la creencia de que las moléculas del aire (y, por tanto, el aire) pueden estar "flotando" sin que se ejerza fuerza alguna sobre ellos (*"como su masa es despreciable, no caen"*).

Tabla 3.3 (b). Resultados obtenidos en la 3ª cuestión ("si las moléculas del aire son atraídas, ¿por qué no terminan todas apiladas sobre el suelo?")

	CAP N=409 % (Sd)	Prof. N=196 % (Sd)
Porcentaje total de respuestas incorrectas	76 (2)	61 (3)
Porcentaje que hacen $F = 0$ (o despreciable) porque la masa de las moléculas es muy pequeña	37 (2)	23 (3)

Resulta muy conveniente comparar con el porcentaje de respuestas que anulan la fuerza de atracción sobre la Luna *"porque la distancia es muy grande"*: el 30 % de los profesores en formación y el 24 % de los profesores en activo. Se trata de

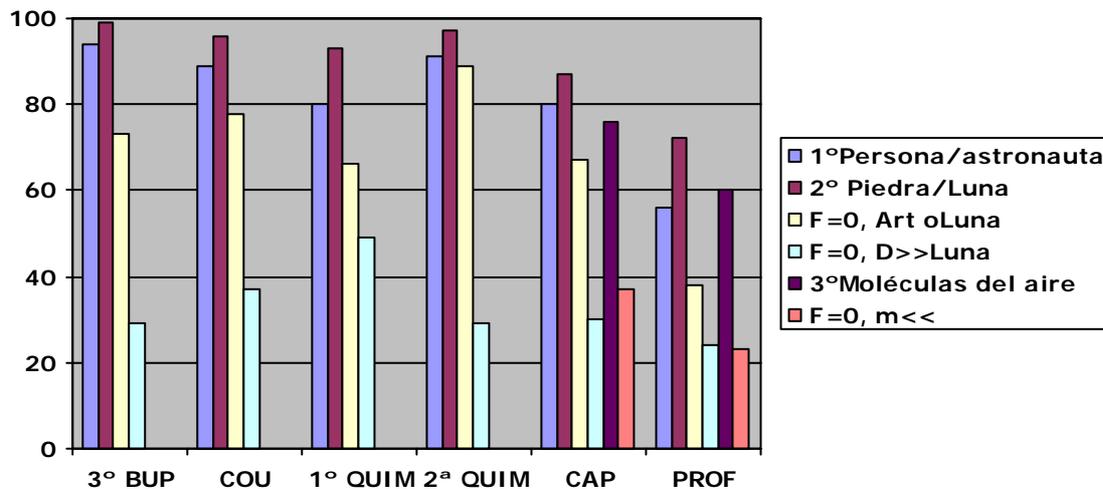
una muestra del verificacionismo característico de la epistemología espontánea en la utilización de una ley fundamental, en este caso la Ley de la Gravitación Universal, eligiendo el factor masa o distancia según convenga para justificar sus creencias previas. Por supuesto, en la pregunta sobre la influencia de la masa en el tiempo de caída de un cuerpo, la práctica totalidad de los profesores en formación y en activo, contestaron que “el tiempo de caída era el mismo aunque la masa se doblara”.

El resumen del estudio empírico realizado para probar la relevancia didáctica del obstáculo -predicho en la planificación de la estructura problematizada- y los argumentos que lo sustentan, puede verse en la tabla siguiente:

Tabla. 3.3 (c) Existencia de diferencias esenciales entre el movimiento de distintos objetos (persona cayendo/ astronauta/ Luna/ moléculas)

Respuesta	3º BUP N = 83	COU N = 83	1º QUIM N = 86	2ª QUIM N = 35	CAP N = 409	PROF. N = 196
1ª. Persona cayendo/ Astronauta	94 (3)	89(3)	80(4)	91(2)	80 (2)	56 (4)
2ª. Piedra/ Luna	99(1)	96(2)	93 (3)	97(3)	87 (2)	72 (3)
Astronauta o Luna en órbita con $F = 0$	73 (5)	78(4)	66(5)	89(5)	67 (2)	38 (3)
Hacen $F = 0$ sobre Luna por distancia muy grande	29 (5)	37 (5)	49 (5)	29 (8)	30 (2)	24 (3)
3ª. Moléculas del aire	-	-	-	-	76 (2)	60 (3)
Hacen $F = 0$ sobre moléculas por masa muy pequeña					37 (2)	23 (3)

Gráfico 3.3.(c) Diferencias esenciales entre los movimientos de distintos objetos



Los resultados anteriores dejan lugar a pocas dudas (ver gráfica 3.3.c) sobre que, aún en la era espacial, la práctica totalidad de nuestros alumnos, después de años de instrucción, y buena parte de los profesores, creen en la existencia de diferencias esenciales en el comportamiento mecánico de los objetos según su naturaleza (terrestre/celeste, piedra/molécula,..), no siendo conscientes, por tanto, de la unificación producida por las concepciones newtonianas. Estas asimetrías son justificadas utilizando ideas espontáneas sobre fuerza (en particular la relación fuerza/ movimiento), pero no sólo. Un porcentaje importante de profesores en formación y en activo (entre la cuarta y la tercera parte) considera que no hace falta que se ejerza fuerza alguna sobre el astronauta, la Luna o las moléculas para que tengan el movimiento que tienen. Se trata de una idea bastante similar, en nuestra opinión, a la idea aristotélica de "movimiento natural y característico de los objetos según su naturaleza".

Estos resultados también son indicativos de la imagen de la ciencia que deben tener alumnos y profesores, un factor que como señala Hodson (1985) influye en sus actitudes. Además constituyen un indicador de la dificultad de conseguir el cambio conceptual en la mecánica newtoniana.

El estudio detallado nos ha permitido comprobar que dichos obstáculos forman parte del pensamiento de los alumnos, e incluso de profesores en formación y en activo, y que, por tanto, señalan aspectos que deben ser tratados y comprendidos, orientan las preguntas y problemas que deben ser abordados en el estudio de la síntesis newtoniana.

Terminamos aquí este ejemplo de cómo la planificación de la estructura problematizada sugiere estudios empíricos que ligan el análisis de las ideas y razonamientos de los alumnos a la elaboración de secuencias de enseñanza.

Presentamos a continuación los problemas estructurantes de la mecánica que permiten contextualizar las secuencias de actividades que hemos seleccionado como ejemplos de aspectos genuinos de estructura problematizada. Para ello, utilizaremos la misma secuencia de actividades que realizamos en clase de 4º de ESO para plantear el interés de la mecánica e implicar a los alumnos en su tratamiento (el tema "*¿Qué vamos a estudiar y por qué?*").

De manera que los aspectos que vamos a presentar como muestra del fruto de la planificación de una gran síntesis con una estructura problematizada son los siguientes:

- Cómo iniciar la implicación y toma de conciencia del interés de una gran síntesis (la mecánica newtoniana). Presentación del hilo conductor de un curso.
- Los trabajos prácticos como situación de puesta a prueba de la validez de los conceptos y/o modelos inventados.
- La resolución de problemas de "lápiz y papel" como situaciones de puesta a prueba de la capacidad predictiva de los conceptos inventados en situaciones reales (modelizadas).
- La recapitulación como situación de toma de conciencia de lo avanzado y sus limitaciones. Un ejemplo donde se toma conciencia de la insuficiencia de lo hecho y se replantea y profundiza el proceso seguido.

3.3.2. Cómo iniciar la implicación y toma de conciencia del interés de una gran síntesis. Presentación del hilo conductor de un curso.

Ya hemos señalado la importancia crucial de que los alumnos tomen conciencia del interés del problema a tratar y "lo hagan suyo" para se impliquen en la búsqueda guiada de posibles soluciones. La dificultad para conseguir esto puede variar de uno a otros temas. Especialmente, la mecánica newtoniana podría parecer excesivamente árida o lejana de los potenciales intereses de los alumnos de 15 a 16 años. Esto hace que en la fase de planificación sea necesario dedicar tiempo y esfuerzo para generar actividades expresamente dirigidas a promover el interés y la implicación –desde el principio- de los alumnos (tal como se indicaba en el **gráfico 2.1** sobre el proceso de toma de decisiones para elaborar una estructura problematizada). Por ello antes de una gran síntesis o parte coherente de un curso, dedicamos el tiempo necesario al tema "¿Qué vamos a estudiar y por qué?", que presentamos a continuación. Acompañaremos dichas actividades con los gráficos de estructura problematizada de la mecánica, con la finalidad de mostrar globalmente dicha estructura y de contextualizar comentarios sobre aspectos posteriores.

(...) Pero antes de empezar una tarea de larga duración, cualquier tarea, es conveniente que nos preguntemos por el interés de la misma: ¿por qué y para qué vamos a estudiar los movimientos de las cosas? ¿Por qué el movimiento de las cosas ha llamado la atención en todas las épocas, desde la Edad Antigua hasta nuestros días? ¿Advertimos el fruto de los estudios sobre el movimiento en nuestra actividad cotidiana?

A.1 Indicar qué interés puede tener el estudio del movimiento de: a) Un vehículo de transporte (de personas, de mercancías,..) b) Las piezas que formarán un mecanismo (un motor, un reloj,..) c) Un avión cuando aterriza o despegue. d) Un coche cuando frena. e) La Luna, el Sol y las estrellas.

Estas actividades permiten tomar conciencia de la importancia práctica del estudio del movimiento de vehículos: si conocemos cómo se mueven podremos prever dónde estarán al cabo de cierto tiempo, y, por tanto, cuanto tardarán en llegar a un destino (pensemos en los horarios de trenes, barcos, autobuses, aviones). El estudio del movimiento de un avión permite conocer de antemano, por ejemplo, con qué velocidad ha de aterrizar para que pueda detenerse sin salirse de la pista, o la velocidad mínima que debe alcanzar para poder elevarse. Del mismo modo, saber cómo influye el frenado en el movimiento de un coche, hace posible conocer la distancia que recorrerá hasta parar o la velocidad máxima a que debe circular para que no haya peligro para las personas, etc. Para diseñar mecanismos que cumplan una función deseada, es necesario conseguir que las piezas que lo forman tengan un movimiento sincronizado (pensemos en un reloj, un motor de coche o el mecanismo de un juguete).

El interés práctico de los casos anteriores es, pues, indudable. En cuanto al movimiento del Sol, la Luna o las estrellas, es necesario resaltar que en los documentos más antiguos que se conocen de las distintas civilizaciones (asirios, caldeos, egipcios, griegos, mayas, aztecas,..) se han encontrado registros precisos de los movimientos de los mismos, e instalaciones especialmente dedicadas a su observación (observatorios astronómicos, relojes solares,..). La importancia del estudio del movimiento

de los astros ha sido vital en el desarrollo de la Humanidad: permitió contar la duración de los ciclos de la Naturaleza, que hombres y mujeres habían contemplado y vivido durante generaciones. En efecto, el análisis del movimiento del Sol permite establecer que la duración del día es variable a lo largo del tiempo (más largo en primavera/ verano, más corto en otoño/ invierno), pero también que es cíclica: hay dos días (equinoccio de primavera, 21 de Marzo, y equinoccio de otoño, 21 de Septiembre) en que la noche y el día tienen la misma duración; un día en que la luz solar alcanza la máxima duración (21 de Junio) y otro en que es mínima (21 de Diciembre), y cualquiera de estos días singulares se vuelve a "repetir" 365 días (aproximadamente) después.

Los antiguos astrónomos también descubrieron que la primera constelación (grupo de estrellas) que se ve por el lugar donde el Sol se oculta al atardecer va variando en el tiempo, observando 12 constelaciones distintas, que vuelven a repetirse después de 365 días (aproximadamente). El movimiento de la Luna también es cíclico: se puede predecir los días que faltan para que vuelva a ocupar la misma posición respecto al fondo de estrellas fijas (la misma posición en la bóveda celeste).

Puede imaginarse el salto que supuso la invención de sistemas para contar los días de una manera cíclica, es decir, la invención del calendario: se pudo prever la llegada y la duración de las distintas estaciones del año -con sus períodos lluviosos y secos- "medir" los ciclos naturales de plantas y animales y planificar, por tanto, la época de siembra, la cosecha, etc. Aunque hoy día no advertimos la importancia del calendario, por ser algo cotidiano, su invención hace más de 3000 años fue un hecho de primera magnitud para una sociedad agrícola y ganadera como la de nuestros antepasados, y fue fruto del estudio cuidadoso del movimiento de los astros.

Pero el interés de estudiar el movimiento de las cosas no se limita a situaciones utilitarias inmediatas, sino que alcanza, como veremos, a la comprensión global del Universo, de la Naturaleza y, por tanto, a la visión que los seres humanos tenemos de nuestra existencia.

No se trata sólo de medir la posición o velocidad de los objetos que se mueven, sino que desde tiempos también remotos dichos estudios han ido acompañados de preguntas sobre por qué se mueven los objetos como lo hacen, y el interés se ha centrado en las diferencias entre los movimientos de los objetos celestes (Sol, Luna, estrellas,...) y de los objetos "terrestres" (como una piedra o un papel).

A.2 Indicar, si las hay, diferencias entre el movimiento de los astros y el de los objetos en la superficie terrestre.

Nuestra experiencia cotidiana nos confirma que los movimientos de los objetos "pesados" como una piedra o un coche, son movimientos que tienen un principio y un final: el reposo. Aparentemente, para que una piedra se mueva hace falta "algo" o "alguien" que le produzca ese movimiento, y al final siempre acaba en el suelo, en reposo. Lo mismo ocurre con un objeto que esté sobre el suelo o con un coche: hace falta empujarle o quemar gasolina continuamente para que se mantengan en movimiento, y, cuando esto deja de ocurrir, se para. En otros casos -un papel o una pluma en el aire- vemos movimientos irregulares, complejos que no parecen seguir regla alguna.

Esto contrasta con los movimientos que observamos del Sol, la Luna o las estrellas que son cíclicos, sin principio ni fin (sin paradas ni arranques) y no vemos que agente alguno los mantenga en movimiento,...

Desde hace miles de años se han buscado explicaciones a estas diferencias, y aún hoy, aunque sea de un modo inconsciente, las personas tenemos ideas espontáneas sobre la causa de las mismas.

El tema central que vamos a tratar en este curso es el estudio de los movimientos de los cuerpos, desde el de vehículos como un barco o una bicicleta hasta el de astros como la Luna o simplemente el de una piedra lanzada al aire

A.3 Si se suelta o se lanza un objeto, como una piedra, cae al suelo. ¿Por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?

A.4 Recoge las respuestas de tres personas de tu entorno familiar, grabadas o escrita la pregunta anterior, júntalas con las obtenidas por todos los miembros de tu equipo y clasificadas en distintos tipos. Expresa los resultados en una tabla (tipo de respuesta y número de personas que han dado dicha respuesta), más adelante volveremos a reflexionar sobre ellas

Parece claro, pues, que percibimos una gran barrera entre la naturaleza de los movimientos de los objetos celestes y la de los objetos terrestres, y que existen explicaciones espontáneas de las personas para justificar dichas diferencias. Los antiguos griegos, especialmente Aristóteles (vivió en el siglo IV antes de Cristo), también explicaron las diferencias en los movimientos que tenían las "cosas" que observaban en la Naturaleza. Algunas de las características principales de su pensamiento deben ser conocidas porque influyeron, ¡durante más de 2000 años!, en el modo de concebir el mundo de nuestra sociedad.

A.5 Lee detenidamente los párrafos siguientes que muestran características importantes del pensamiento de Aristóteles sobre los movimientos y el mundo físico. Piensa cómo vemos la Luna en un día soleado, y las estrellas durante una noche despejada, ¿serían lógicas/ aceptables estas ideas para las personas de hace 20 siglos?

"Todas las cosas que vemos a nuestro alrededor están formadas por la mezcla de cuatro "elementos o esencias" puros: tierra, agua, aire y fuego. Cada uno de estos elementos, por su propia naturaleza, ocupa un lugar natural en el Universo, y su estado natural es estar en reposo en su lugar natural. Así, por ejemplo, el lugar natural del elemento "tierra" es estar lo más bajo posible, y el del elemento "fuego" el más alto posible; el lugar natural del aire es estar por encima de los elementos "tierra" y "agua", pero por debajo del elemento "fuego"

Los objetos se mueven según la proporción de cada uno de los elementos que lo forman: así, una piedra está formada casi totalmente por el elemento "tierra", de modo que su tendencia natural será estar en reposo lo más bajo posible. La tendencia natural del humo, que es una mezcla de aire y fuego será ir hacia arriba hasta alcanzar su lugar natural, donde quedará en reposo lo más alto posible

Un objeto sólo abandona el reposo en su lugar natural si hay una causa "violenta" que le obligue a ello, y volverá a él cuando cese esta causa: por ejemplo, el movimiento de una piedra hacia arriba sólo ocurre por una causa violenta, y cuando cesa ésta, realiza un movimiento natural hacia su lugar natural -lo más bajo posible- donde quedará en reposo. En cambio, la naturaleza de los astros es bien distinta: su movimiento es perfecto, circular, siempre igual de rápido, sin principio ni final. Están formados por un quinto elemento, totalmente diferente de los terrestres, cuya tendencia natural es moverse de modo circular, inmutable y eterno en los cielos." (Esto podría, quizás, haber estado firmado por Aristóteles, hace unos 2350 años)

Como hemos visto en las actividades **A.3**, **A.4**, y **A.5** para los antiguos griegos y para la inmensa mayoría de las personas que viven en la actualidad, parece evidente que hay diferencias esenciales en cómo son y cómo se producen los movimientos de los astros y los de los objetos en la superficie terrestre.

Pero la ciencia moderna no sólo persigue resolver situaciones de interés práctico inmediato (como las que nos hemos referido al realizar la **A.1**), sino que se caracteriza por la búsqueda de explicaciones unitarias, es decir, lo más universales posibles. La finalidad de la ciencia es tratar de explicar de la misma manera fenómenos que, en principio, parecen esencialmente distintos.

Puede imaginarse que tratar de hacer eso implica poner en duda lo que parece evidente, enfrentarse a verdaderas barreras intelectuales. Y, el caso de los movimientos es un ejemplo clarísimo. ¿Cómo puede ser posible que el movimiento que realiza una piedra lanzada al aire pueda explicarse de la misma manera que el movimiento de la Luna?, ¿alguien puede pensar que el movimiento de un globo de hidrógeno y el de una bola de plomo se puedan explicar utilizando los mismos conceptos?

Pues sí, a esto es a lo que vamos a enfrentarnos en este curso: a tratar de conseguir una explicación a por qué el movimiento de un objeto es de una forma determinada, que sea igualmente válida para un coche, una piedra, un trozo de madera que se suelta dentro del agua, o la Luna. Es decir, la pregunta estructurante que nos servirá para organizar nuestro estudio, y, por tanto, para orientarnos, será: **¿de verdad existen diferencias esenciales entre los movimientos de todas las cosas de la Naturaleza, o podemos encontrar una explicación universal para el movimiento de cualquier objeto independientemente de la clase de objeto que sea?** O, lo que es equivalente: ¿cómo podríamos conseguir que una piedra se moviera como la Luna? ¿y que un globo de hidrógeno cayera como una bola de plomo al suelo?, en definitiva, vamos a poner en cuestión lo que parece obvio a simple vista -la existencia de barreras insalvables- y a tratar de encontrar una explicación universal al movimiento de todas las cosas.

Para ello contaremos con la imaginación de todos los componentes de la clase y con una actitud de ir más allá de lo que parece evidente, planteando preguntas e inventando conceptos que nos permitan avanzar en nuestro problema estructurante inicial. Pero no sólo abordaremos dichas preguntas generales, sino que, al mismo tiempo, la puesta a prueba de los conceptos que inventemos supondrá mostrar su validez para tratar problemas prácticos y cotidianos como: ¿cuánto tiempo tardará un tren en atravesar un túnel?, ¿qué hace falta para lograr que el movimiento de un vehículo sea el deseado?,... . Trataremos, pues, de aunar el intento de comprensión global del movimiento de todas las cosas en la Naturaleza -una concepción del mundo- con el tratamiento de situaciones cotidianas de interés.

Para que el avance que deseamos sea posible, es necesario proponer problemas más concretos, más fácilmente abordables, que constituyan un hilo conductor del curso y cuya solución nos aproxime a la solución del problema estructurante inicial que hemos planteado. Así, pues, si lo que deseamos es encontrar una explicación universal, única, a por qué las cosas se mueven como lo hacen, una posible estrategia podría ser.

1. Tratar de caracterizar los movimientos de los objetos **ignorando la naturaleza de los mismos**, es decir, sin fijarnos en si es una piedra, un coche, un globo lleno de hidrógeno o la Luna. En otras palabras, procuraremos inventar magnitudes que sirvan para identificar y diferenciar unos movimientos de otros, pero sin tener en cuenta de qué esta hecho o cómo es el objeto que se mueve.
2. Si logramos describir y diferenciar unos movimientos de otros utilizando los mismos conceptos para todos, será el momento de abordar el problema de **¿qué es lo que hace que el movimiento de un objeto sea de un tipo u otro?**, es decir, **¿cómo conseguir que un movimiento sea de un tipo u otro?** Dentro del tratamiento de este problema, será de especial interés *tratar de superar las barreras a las que nos hemos referido, planteando cuestiones como:*
 - ¿qué hace falta para que el movimiento de un objeto no sea rectilíneo, sino circular y uniforme como el de la Luna?
 - si conseguimos explicar qué ha de ocurrir para que el movimiento de un objeto en la superficie terrestre sea circular y uniforme: ¿qué haría falta para que el movimiento de la Luna se pudiera explicar del mismo modo?
 - podemos explicar la causa de las diferencias entre el movimiento de un globo de hidrógeno y el de una piedra cuando se sueltan de la mano?
 - ¿qué haría falta para que un objeto terrestre (un vehículo, una persona) se moviera como la Luna?, ¿podríamos conseguir que un globo cayera como una piedra?
3. Por último, realizaremos una recapitulación para ver en qué medida hemos avanzado en la solución de nuestro problema estructurante, es decir, realizaremos una síntesis para ver en qué medida hemos logrado una explicación única, universal, al movimiento de todas las cosas

En el fragmento anterior podemos apreciar cómo se dedican varias sesiones de clase a plantear el interés que puede tener la mecánica. La encuesta que deben

realizar a personas de su entorno cotidiano (A.4) sobre algo en lo que ellos mismos han reflexionado (A.2 y A.3) resulta especialmente motivador para los alumnos, que aportan listas y relatos de las respuestas. Igualmente interesante suele ser la lectura *dramatizada* del texto de Aristóteles.

El texto posterior a A.5 –que aunque se encuentra en el material impreso de los alumnos, refleja la intervención verbal del profesor- trata sobre la naturaleza de la ciencia, resaltando la actitud de cuestionar lo obvio, de buscar en las fronteras y aspirar a ideas cada vez más universales.

Las respuestas obtenidas por los alumnos en A.4 constituyen, además, una referencia inicial que será útil posteriormente para que tengan sensación de avance (May y Etkina, 2002), de aprendizaje. Llegará un momento en que se les pedirá que revisen dichas respuestas e, incluso, que traten de convencer a alguna de esas personas de que no puede ser así.

El hilo conductor, los subproblemas que se van a tratar para responder a las preguntas iniciales, aparece de un modo lógico y en respuesta a preguntas de interés.

Hemos elegido la opción galileana: tratar de caracterizar los movimientos "en esencia" (ignorando el objeto que se mueve al considerarlo puntual), y sólo después plantear qué hace que un movimiento sea de una u otra forma. Las frecuentes recapitulaciones y referencias a las preguntas (y respuestas) iniciales que se hará en el desarrollo de las actividades siguientes favorece que los alumnos vayan apropiándose (Cuccio-Schirripa y Steiner, 2000) cada vez más de "la estructura". La evaluación adquirirá el carácter de recapitulación de lo avanzado y de puesta a prueba de la firmeza de dicho avance (Alonso, Gil, Martínez Torregrosa, 1991; Jorba y Sanmartí, 1995; Martínez Torregrosa, Gil y Verdú, 1999; Prain Hand y Yore, 2003in).

Mostramos a continuación los gráficos de estructura problematizada de toda la mecánica (**gráfico 3.3**) y del tema "¿Cómo caracterizar el movimiento de un objeto? ¿Cómo distinguir un movimiento de otros?" (**gráfico 3.4**).

Gráfico 3.3. ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL CURSO: EL MOVIMIENTO DE TODAS LAS COSAS PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA

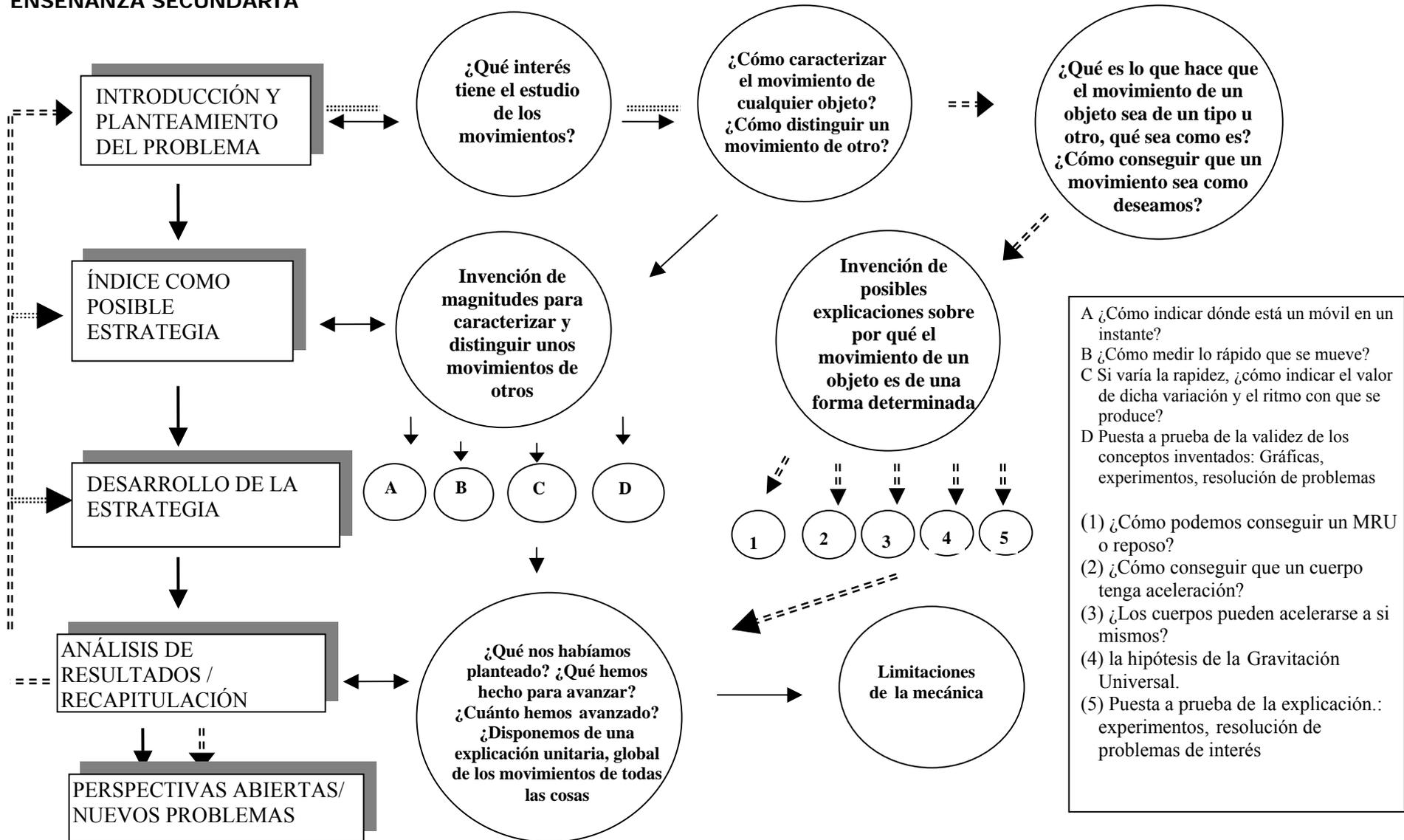
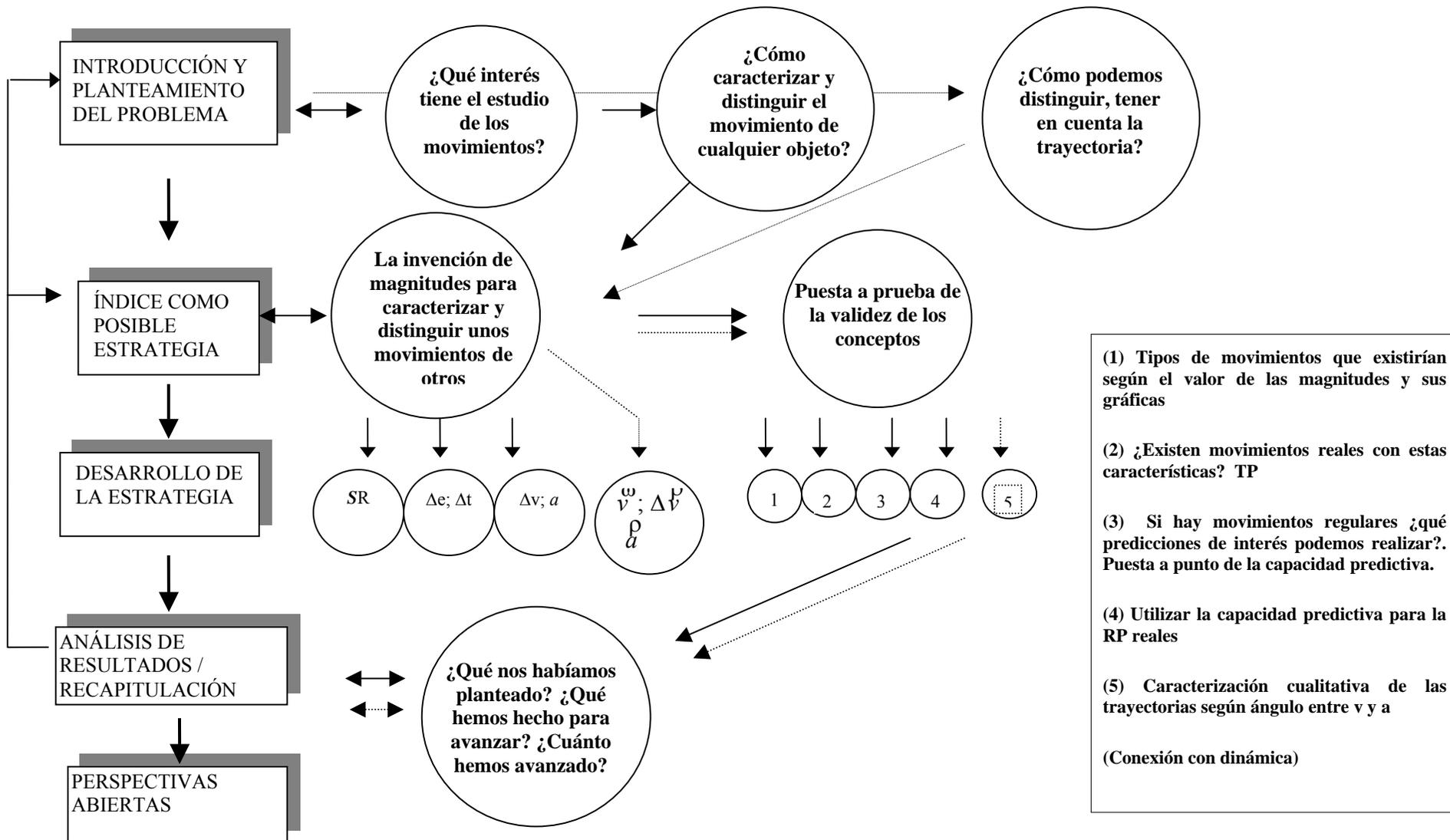


Gráfico 3.4 ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL TEMA "¿CÓMO CARACTERIZAR EL MOVIMIENTO DE UN OBJETO? ¿CÓMO DISTINGUIR UN MOVIMIENTO DE OTROS?". PARA ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA



A continuación, vamos a mostrar el carácter que adquieren los trabajos prácticos dentro de la estructura problematizada. Para ello, partiremos del gráfico de estructura problematizada del tema "¿Cómo distinguir un movimiento de otros?", de la página anterior, situándonos en el círculo "puesta a prueba de la validez de los conceptos".

3.3.3. Los trabajos prácticos como situaciones de puesta a prueba de la validez de los conceptos inventados

Recordemos que el problema estructurante de este tema era "*¿Podemos caracterizar – y diferenciar de otros- cualquier movimiento, de una forma independiente de la naturaleza del objeto que se mueve?*". Para ello, en una primera parte se han inventado conceptos (en este caso, magnitudes definidas operacionalmente), como posición sobre la trayectoria, cambio de posición, rapidez, aceleración, con los que hemos tratado de responder a las cuestiones que se han ido planteando al tratar de caracterizar cómo es un movimiento.

No obstante, como hemos dicho en el capítulo 2 al tratar la naturaleza de los conceptos, modelos y teorías, estos conceptos son magnitudes y relaciones entre magnitudes cuya validez debe ser puesta a prueba por su utilidad para avanzar en los problemas planteados y su contribución al establecimiento de leyes, de hipótesis contrastadas. En este caso, ¿cómo someter a prueba su validez? Frente a la introducción aproblemática y dogmática habitual como definiciones inamovibles, una posible estrategia (la que hemos diseñado y probado durante años con los alumnos) es:

- Establecer posibles tipos de movimiento que podrían existir según dichas magnitudes y qué deberíamos hacer para decidir si un movimiento real pertenece a alguno de esos tipos
- Elegir movimientos reales de objetos muy distintos para ver en qué medida se pueden caracterizar con las magnitudes inventadas (si se pueden clasificar como uno de los tipos definidos según las magnitudes inventadas).

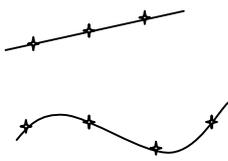
Fijémonos que en la segunda fase del proceso de puesta a prueba, los conceptos ("objetos teóricos" de naturaleza tentativa) se deben confrontar con la realidad: que un movimiento real sea de un tipo u otro es una cuestión de hecho, una hipótesis susceptible de ser contrastada empíricamente. Más aún, puesto que nuestro interés estaba dirigido a caracterizar el movimiento de los objetos, sin importar el objeto que se mueve, hemos elegido dos movimientos reales aparentemente "opuestos": el de caída libre de un cuerpo y el de ascenso de una burbuja de aire en un líquido. Más concretamente, hemos escogido estos dos movimientos:

- a) Por tratarse de movimientos que, una vez fijadas las condiciones iniciales, no pueden modificarse "por sí mismos" lo que dará más validez al hecho de que "encajen" en los movimientos/tipo. En cambio, en un coche, por ejemplo, siempre se puede apretar más o menos el acelerador, "obligando" a que el movimiento sea de un tipo determinado; un corredor puede ir más o menos rápido a voluntad,...
- b) Para avanzar hacia una explicación unitaria, universal, del movimiento de todas las cosas. Por ello, si podemos caracterizar los movimientos de caída de una piedra y de una burbuja de gas, y establecer en qué se diferencian uno del otro, utilizando las mismas magnitudes para ambos y sin necesidad de tener en cuenta la naturaleza de los mismos, habremos dado un paso adelante hacia una explicación del movimiento de todas las cosas.

En definitiva, la secuencia de actividades para el alumno quedan, pues, como sigue:

¿QUÉ TIPO DE MOVIMIENTOS PODRÍAN EXISTIR SEGÚN ESTAS MAGNITUDES?

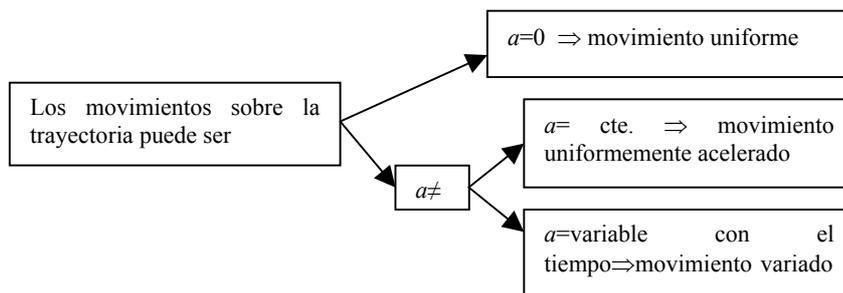
A.13 Imaginar diferentes tipos de movimientos que podrían ocurrir según el valor de la su aceleración sobre la trayectoria. Describir ejemplos de cada uno de los diferentes tipos.



Podemos imaginar movimientos con $a = 0$ y con $a \neq 0$. Un movimiento que no tenga aceleración sobre la trayectoria se realizaría con una rapidez constante, $v = \text{constante}$, y, por tanto, si señalamos la posición del móvil a intervalos iguales de tiempo, el resultado se indica en las figura (posiciones de un móvil con $a=0$). Este tipo de movimiento recibe el nombre de movimiento uniforme (m.u.).

Si el movimiento tiene una aceleración $a \neq 0$, ésta puede ser constante, siempre igual en el tiempo, o variar con él. Si $a = \text{constante}$, la rapidez del móvil variará pero, según nuestra definición, lo hará siempre al mismo *ritmo* (al ser $a = a_m = \Delta v / \Delta t = \text{constante}$). Dicho movimiento recibe el nombre de movimiento uniformemente acelerado (m.u.a.). Imaginar cómo variará la posición de un móvil con este tipo de movimiento no es tan fácil como en el caso del movimiento uniforme de la figura anterior. Ahora al variar continuamente la rapidez con el tiempo, el cambio de posición a intervalos iguales y sucesivos de tiempo será distinto.

Por último, si la aceleración varía con el tiempo, la rapidez también varía, pero no con un ritmo constante y, por tanto, el movimiento será más irregular o *complejo* que los anteriores. No obstante, pese a estas irregularidades, siempre sería posible, con las magnitudes introducidas (v_m y a_m), dar valores medios de la rapidez y de la aceleración en los intervalos que se deseen, si se conocen la posición al principio y al final de este intervalo. Según lo anterior, los movimientos sobre la trayectoria podrían ser:



Caracterizar un movimiento y diferenciarlo de otros consistirá, por tanto, en identificar qué tipo de movimiento es y, además, precisar el valor concreto de las magnitudes a , v y e . Pero, ¿cómo hacer esto con un movimiento real?, ¿existirán movimientos reales que se puedan clasificar como un movimiento de un tipo determinado? Eso es lo que vamos a emprender a continuación.

A.14 Concretar un diseño experimental, que pueda realizarse en la práctica, para determinar qué tipo de movimiento sobre la trayectoria tiene un coche teledirigido o una persona que corre.

En la práctica no es posible, en general, medir directamente la aceleración o la rapidez sobre la trayectoria de un móvil (a menos que se lleve un velocímetro como algunos coches). En cambio, es relativamente fácil medir la posición e , en diferentes instantes. Realizar medidas de la posición en distintos instantes puede exigir diseños experimentales diferentes según la situación.

En todos los casos, lo que se obtiene es una tabla de valores de e en distintos instantes, que pueden ser representados para dar una idea global y rápida de la variación de la magnitud medida con el tiempo. Dichas representaciones gráficas serán líneas en las que cada punto corresponderá a un instante del reloj tomado sobre el eje de abscisas, y su correspondiente posición, o rapidez, tomada sobre la escala del eje de coordenadas.

Por tanto, es necesario que estudiemos como serían los gráficos de $e = f(t)$ y de $v = f(t)$ para los movimientos/tipo y la información que puede extraerse de ellas. De esta manera, a partir de los datos obtenidos de un movimiento real, podremos decidir si se ajusta a alguno de los tipos estudiados (en la su totalidad o en alguno de sus tramos) y obtener el valor de las magnitudes que permitan diferenciarlo de otros movimientos del mismo tipo.

II.1.1 Gráficas del movimiento uniforme y del movimiento uniformemente acelerado.

A.15 Razonar cómo serían los gráficos de la aceleración, de la rapidez y de la posición en función del tiempo para a un movimiento uniforme y para un movimiento uniformemente acelerado.

Como podemos ver en estas actividades se pretende que los alumnos predigan consecuencias contrastables que les permita caracterizar y distinguir los tipos de movimientos según las magnitudes introducidas. En la actividad **A.13** se pide relacionar las magnitudes y la trayectoria, la siguiente cómo tomar medidas para poder representar la variación de las magnitudes, e , v , y , a con el tiempo, para por último representarlas mediante gráficas. De esta forma preparamos los instrumentos necesarios para abordar el siguiente punto: caracterizar movimientos reales.

Evidentemente estas no son las únicas actividades que se hacen en el aula sobre gráficas. A éstas le siguen una serie de actividades para clarificar los conceptos tratados, la realización de gráficas a partir de la trayectoria, de dada una gráfica deducir las gráficas de la variación con el tiempo de las otras magnitudes o de la propia trayectoria.

Con los alumnos de 4º de ESO hemos optado por hacer, en primer lugar, un tratamiento gráfico. Los alumnos, en el desarrollo de estas actividades, toman conciencia de que aunque pueden existir movimientos complejos y variados, algunos serían especialmente regulares y predecibles: aquéllos en que v fuera constante (uniformes: como $\Delta e / \Delta t = \text{constante}$, la gráfica de $e = f(t)$ será una recta cuya pendiente valdrá v) y aquéllos en que la aceleración fuera constante (uniformemente acelerados: como $\Delta v / \Delta t = \text{constante}$, la gráfica $v = f(t)$ será una recta cuya pendiente valdrá a , y la gráfica de $e = f(t)$ no será una recta $-\Delta e / \Delta t \neq \text{constante}$ sino que será creciente si a es positiva y decreciente si es negativa). El profesor tras este análisis gráfico cualitativo, afirma que será una parábola con el vértice en el origen, $e = kt^2$, si el objeto parte del reposo y se halla en ese momento en el origen de posiciones. Durante los años en que estaba vigente 2º de BUP en esta fase se llegaba hasta expresar las ecuaciones del movimiento. Nuestra experiencia en 4º de ESO nos aconsejó realizar esta primera aproximación de modo gráfico y desarrollar el aspecto más cuantitativo una vez establecida la existencia de movimientos reales especialmente regulares (lo que hace de mayor interés, aún, predecir con exactitud, cuantitativamente, dónde se encontrará el móvil en un instante determinado).

Una vez previsto tipos de movimientos especialmente regulares que podrían ocurrir según las magnitudes introducidas, es el momento de plantear si en la naturaleza se dan movimientos de estos tipos, y se justifica por qué elegimos estudiar el de caída de los cuerpos y el de una burbuja de aire, haciendo referencia al problema que orienta nuestra actividad.

Lo importante es resaltar cómo, de esta manera, los trabajos prácticos (en este caso dos) se convierten en una situación de puesta a prueba de los conceptos y modelos inventados. Presentamos a continuación la secuencia de actividades para el estudio del movimiento de caída de los cuerpos (graves), que no comentamos, por ser sobradamente conocida y encontrarse desarrollada con detalle en los materiales publicados ya citados (Calatayud et al., 1988.; Martínez Torregrosa, Verdú et al., 1995 y Martínez Torregrosa, Verdú et al., 1999):

Estudio del movimiento de caída libre de los cuerpos

II.2 CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS REALES

II. 2.1 Movimiento de caída de graves

Una vez dejado caer un objeto, no podemos hacer nada por modificar su movimiento (cómo hacemos con un coche teledirigido o cuando corremos), por lo que tendría especial importancia que fuera de alguno de los tipos especialmente regulares que hemos descrito.

A.16 ¿Qué puede decirse, partiendo de las observaciones y experiencias cotidianas sobre el movimiento de caída de los cuerpos?

A.17 Puesto que, como vemos, el movimiento, en general, es muy complejo avanzar en esta cuestión supone: a) Imponer las condiciones necesarias para que la caída sea lo suficientemente simple, b) Con las condiciones establecidas, formular hipótesis sobre: 1º el tipo de movimiento que puede ser; 2º si el movimiento de caída será idéntico para cualquier cuerpo.

A.18 Una vez establecida la forma de conseguir que la fricción con el aire sea despreciable, proceder de forma sencilla a comprobar la influencia de la masa en el movimiento de caída.

Más sorprendente aún era este resultado en la época de Galileo, que no sólo caracterizó el movimiento de caída de los cuerpos sino que advirtió que estos resultados eran radicalmente contrarios a las creencias de los seguidores de Aristóteles, quién escribió textualmente: "Un peso dado cae una cierta distancia en un tiempo dado; un peso mayor tarda en caer desde la misma altura menos tiempo, estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así, si un peso dado es doble que otro, invertirá la mitad de tiempo en caer" (De Caelo, s. IV a. de C.). Galileo, en su libro "Dos nuevas Ciencias" (Galilei, 1994), contesta de la siguiente manera a un aristotélico, llamado Simplicio, que pone reparos a los resultados de la experiencia diciendo que "la más pesada ha llegado un poco antes":

"Simplicio, tengo la esperanza de que no seguirás el ejemplo de muchos otros, que desvían la discusión de un punto principal y dicen que algunas de mis afirmaciones se apartan de la verdad por un cabello y por este cabello esconden las faltas de otras teorías tan gruesas como un cable de navío. Aristóteles dice que una esfera de hierro de 100 libras, cayendo desde una altura de 100 cúbitos, llega al suelo antes de que una bola de 1 libra, dejada caer desde la misma altura, haya caído 1 cúbito. Yo digo que las dos llegan al suelo al mismo tiempo. Tu encuentras al hacer la experiencia, que la más pesada adelanta a la más ligera en dos o tres dedos. Ahora no puedes esconder detrás de estos dos dedos los 99 cúbitos de diferencia que debería haber según Aristóteles, ni puedes mencionar mi pequeño error y al mismo tiempo silenciar el suyo, mucho mayor"

Vamos, ahora, a contrastar la hipótesis de que el movimiento de caída libre, en las condiciones señaladas, tiene aceleración constante:

A.19 Si el movimiento de caída libre con rozamiento despreciable fuera uniformemente acelerado, ¿cómo serían las gráficas $e = f(t)$ y $v = f(t)$ para un movimiento de caída?

A.20 Proponer algún diseño experimental, realizable en el laboratorio, que permita comprobar si la relación $e = f(t)$ es la de un m. u. a. (un trozo de parábola, que si el vértice está en el origen, es decir $e=0$ para $t=0$, corresponde a una relación del tipo $e = k t^2$).

A.21 Tras preparar el cuaderno para la recogida y el análisis de datos, proceder a la realización del experimento diseñado.

A.22 Analizar los datos obtenidos y decidir si se cumple la hipótesis formulada, es decir, si el movimiento de caída libre, cuando el rozamiento es prácticamente despreciable, puede considerarse uniformemente acelerado. A continuación, presentar un informe, lo más detallado posible, sobre el trabajo realizado, en donde se destaquen cada una de sus fases: planteamiento del problema, formulación de hipótesis, diseños experimentales, datos obtenidos y análisis de los mismos, y conclusiones.

Hemos visto, pues, que con las magnitudes introducidas no sólo podemos caracterizar el movimiento de caída libre de los cuerpos, sino que –en las condiciones indicadas- dicho movimiento es especialmente regular: uniformemente acelerado. ¿Servirán las mismas magnitudes para caracterizar el movimiento de un globo de gas o de una burbuja de aire que asciende dentro de un líquido?

1.2.2 Movimiento de una burbuja de gas

Dado que la realización práctica de un estudio sobre la trayectoria del movimiento de un globo lleno de hidrógeno que se suelta en el aire, es muy difícil de realizar, vamos a estudiar un movimiento de características parecidas, pero realizado en condiciones controladas, que faciliten el estudio.

El movimiento de una burbuja de aire en un tubo lleno de agua, o de otro líquido, responde bastante bien a nuestro deseo: un globo de hidrógeno tiene una densidad menor que la del "mar de aire" en que se encuentra inmerso, su movimiento es como el de una pelota que se suelta en el fondo del mar. La burbuja de aire es menos densa que el líquido en el que se encuentra sumergida.

A.23 Después de realizar algún ensayo, formular hipótesis sobre qué tipo de movimiento puede ser el movimiento ascendente de una burbuja de aire en un tubo lleno de agua.

A.24 Realizar un diseño experimental que permita contrastar la hipótesis y ponerlo en práctica.

A.25 Proceder al análisis de los resultados obtenidos y valorar si se cumple la hipótesis de partida

A.26 Preparar un resumen o "comunicación" de la investigación realizada para presentar y defender vuestras conclusiones a toda la clase.

Es necesario resaltar que este último trabajo práctico puede ser planteado a los equipos de alumnos como un pequeño proyecto de investigación a realizar de forma autónoma. La familiarización con la forma de abordar un problema práctico adquirida en el movimiento de caída y el hecho de que el desarrollo es muy similar (el profesor sólo debe suministrarles el material necesario que soliciten los alumnos: tubo de plástico de más de un metro, cronómetro y cinta métrica), hace probable el éxito. Este sistema tiene la ventaja de que las memorias de investigación realizadas por los distintos equipos pueden ser presentadas en carteles y oralmente (a modo de comunicaciones científicas), y debatidos los resultados y problemas prácticos. Algunos equipos tienen dificultades que han sido superadas por otros, las conclusiones no son igualmente fiables en todos los grupos, etc... Todo ello no sólo contribuye a que tomen conciencia de la necesidad de repetición en condiciones adecuadas por equipos de científicos profesionales ("un experimento escolar no basta para concluir aspectos cruciales") sino a que reflexionen sobre la credibilidad de lo que dicen los científicos y se enfrenten, además, a la realización de una exposición oral pública, honesta y basada en hechos y argumentación.

La validez y utilidad de los conceptos inventados también puede ser puesta a prueba mediante la aplicación de su capacidad predictiva a situaciones reales de interés. En el caso de la mecánica, dicha capacidad predictiva se traduce en las ecuaciones del movimiento para aquéllos que son especialmente regulares: si sabemos dónde está un móvil en un instante determinado y el tipo de movimiento, podemos saber dónde se encontrará en cualquier instante que deseemos. Todos los problemas de "lápiz y papel" pueden convertirse en situaciones de puesta a prueba de los conceptos inventados (y, por supuesto, también de la pericia de quienes abordan dichos problemas). A continuación mostramos el desarrollo de un problema de este tipo que planteamos habitualmente en las clases de 4º de ESO y/o 1º de Bachillerato. Los resultados muy positivos de esta forma de enseñar a enfrentarse a problemas han sido probados en numerosas investigaciones en bachillerato y primeros cursos universitarios (Gil y Martínez Torregrosa, 1984; Martínez Torregrosa, 1987; Gil y Martínez Torregrosa, 1987_a; Dumas-Carré, Gil y Goffard, 1990; Ramírez, Gil y Martínez Torregrosa, 1994; Becerra et al., 2004;...)

3.3.4. La resolución de problemas de "lápiz y papel" como pequeñas investigaciones: una forma de poner a prueba la capacidad predictiva de conceptos y modelos, familiarizar con el trabajo científico y enseñar a los alumnos a enfrentarse a verdaderos problemas

Otra forma de poner a prueba la validez de los conocimientos introducidos en el tema, y abordado en el **capítulo 2**, es la resolución de problemas de lápiz y papel como pequeñas investigaciones. En este apartado abordamos la capacidad predictiva de los conocimientos introducidos, su campo de aplicación sobre aspectos de interés desde un punto de vista práctico, en lugar de realizar ejercicios de aplicación de las ecuaciones. Algunos aspectos a tener en cuenta a la hora de realizar resolución de problemas son los siguientes:

- Poner a punto la capacidad predictiva de conceptos y modelos, en un ambiente problematizado (umbral conceptual)
- Utilizar el modelo hasta convertir la reflexión metodológica en un hábito. Pequeños grupos que se enfrentan a problemas siguiendo las fases metodológicas, con "puestas en común" tras cada fase. (Umbral metodológico).
- Seleccionar secuencias que eviten la "fijación funcional".
- Plantear problemas a pequeños grupos, y, al final reflexionar colectivamente sobre los bloqueos y las decisiones tomadas para avanzar, tratando de generalizar las que trascienden el contexto concreto del problema, lo que favorecerá la transferencia (umbral actitudinal, conceptual, metodológico).

Conseguir que esta forma de pensar se convierta en un hábito de trabajo intelectual es uno de los grandes objetivos de la enseñanza de las ciencias y cuyas características recogimos en el capítulo 2 (**Cuadro 2.1**) y que a continuación resumimos:

ORIENTACIONES PARA FACILITAR EL TRATAMIENTO DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS ABIERTAS

- I. Discutir cuál puede ser el *interés* de la situación planteada.
- II. Comenzar por un estudio *cualitativo* de la situación, intentando *acotar y definir de manera precisa el problema*, explicitando las condiciones que se consideran reinantes, etc. (¿Cuál es el problema? Operativización).
- III. *Formular hipótesis* fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límites de fácil interpretación física.
- IV. Elaborar y explicitar *posibles estrategias* de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.
- V. Realizar la *resolución verbalizando al máximo*, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más, operativismos carentes de significación física.
- VI. *Analizar cuidadosamente los resultados* a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límite considerados.
- VII. Realizar una recapitulación de lo hecho, resaltando obstáculos encontrados y el modo en que se han superado.

En este curso (4º de ESO) y en 1º de Bachillerato los contenidos nos permiten abordar temas como la educación vial. Aquí describiremos con comentarios el tratamiento de una de estas situaciones, a modo de ejemplo, de lo que supone enfrentarse a un problema abierto. Presentamos a continuación un ejemplo concreto [basado en el que ponen Gil, Martínez Torregrosa et al., (1993)] de tratamiento de una situación problemática abierta con una orientación investigativa. Hemos elegido una situación especialmente elemental para mostrar cómo al orientar su resolución como una investigación, la actividad se enriquece notablemente, convirtiéndose en ocasión de practicar aspectos clave del trabajo científico, favoreciendo además una notable mejora en los resultados.

Cuando hemos de atravesar una vía de circulación rápida por un lugar donde no existe paso de peatones, solemos analizar brevemente la situación y optar

entre pasar o esperar. Esta elección se apoya en la recogida y tratamiento de informaciones pertinentes que, aunque tengan un carácter inconsciente, no dejan de basarse en las leyes de la Física. Proponemos, pues, abordar dicha situación, respondiendo a esta cuestión:

*Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche:
¿pasamos o nos esperamos?*

Como puede verse se trata de una situación en la que cualquier alumno, cualquier ciudadano, puede encontrarse con relativa frecuencia y en la que necesariamente se procede a realizar estimaciones cualitativas que determinan la elección final (pasar o esperarse). Explicitar dichas estimaciones y proceder a un tratamiento más riguroso de la situación puede tener interés desde distintos puntos de vista, ya que permite:

- Ayudar a comprender el papel de las estimaciones cualitativas, a las que los científicos recurren con frecuencia, previamente a realizar cálculos más precisos. Se puede romper así con la visión tópica que asocia trabajo científico con cálculos minuciosos que, a menudo, pierden toda significación.
- Hacer ver que las disposiciones legales sobre límites de velocidad, las decisiones urbanísticas sobre localización de semáforos, isletas en el centro de una calzada, etc., se basan -o deberían basarse- entre otros aspectos, en un estudio físico cuidadoso de las situaciones, es decir, en la resolución de problemas como el que aquí se propone.
- Podemos referirnos, por último, al interés que puede tener el tratamiento de esta situación para incidir en aspectos de educación vial y, más en general, en la toma de decisiones en torno a problemas CTSA (Sobes y Viches, 1997; Solbes, 2002; Edwards et al., 2004).

Vale la pena, pensamos -en éste y en cualquier problema- pedir a los alumnos que se planteen **cuál puede ser el interés de la situación problemática propuesta** e insistir en algunas de las ideas aquí expuestas. Ello puede contribuir a favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, evitando que los alumnos se vean

sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora. De hecho, cuando se propone este problema a estudiantes de Secundaria o a profesores en formación, los grupos de trabajo introducen ideas semejantes a las aquí expuestas.

En general, si se desea romper con planteamientos excesivamente escolares, alejados de la orientación investigativa que aquí se propone, es absolutamente necesario que cada tarea planteada sea presentada cuidadosamente, prestando atención a crear un interés previo que evite un activismo ciego.

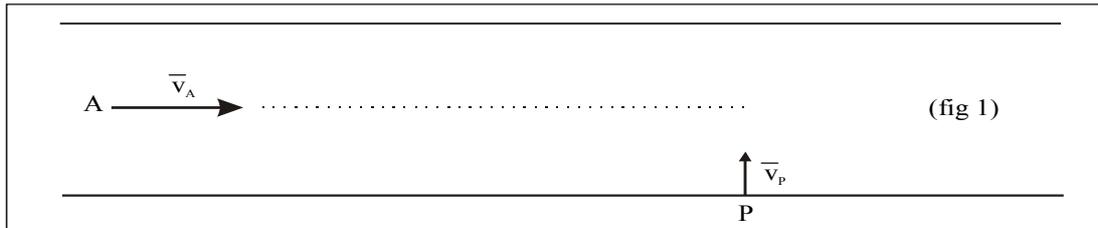
Veamos ahora, tras estas reflexiones introductorias, el desarrollo previsible del trabajo de los alumnos en este problema, cuando les pedimos que procedan al **análisis cualitativo de la situación y al planteamiento preciso del problema.**

Solicitar "el análisis cualitativo de la situación y planteamiento del problema" constituye una petición bastante global, lo que nos parece preferible a ir orientando el trabajo de los alumnos con preguntas más concretas que parcialicen el abordaje de la situación. Ello no quiere decir que el profesor no pueda introducir, si lo considera necesario, nuevas cuestiones durante las puestas en común, pero lo esencial es que los grupos de trabajo se planteen una actividad suficientemente global para que tenga sentido y no constituya un simple ejercicio escolar controlado por el profesor. El papel de éste ha de ser el de favorecer una actividad lo más autónoma y significativa posible, sin descomponer innecesariamente la tarea mediante preguntas muy concretas que pueden incluso esconder el hilo conductor.

Volviendo al problema que nos ocupa, señalaremos en primer lugar que analizar una situación problemática abierta hasta formular un problema concreto exige un esfuerzo de precisión, de toma de decisiones modelizantes, etc., que, incluso en un problema tan sencillo como éste, encierra dificultades para los alumnos. Entendemos, sin embargo, que son dificultades debidas, en gran parte, a la falta de hábito en detenerse suficientemente en las situaciones, en hacer explícito lo que "se da por hecho", etc. La intervención del profesor se limita, pues, a pedir precisiones e impulsar a una mayor profundización. Los alumnos pueden

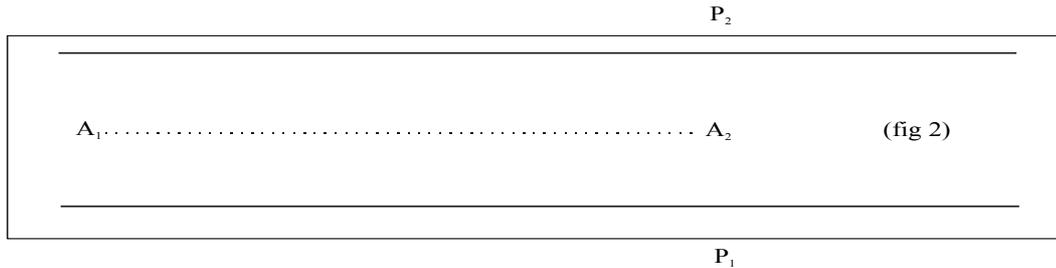
llegar así, tras la puesta en común del trabajo de los pequeños grupos, a concebir la situación planteada en la forma que transcribimos, sintéticamente, a continuación:

"Consideraremos que el automóvil A sigue una trayectoria rectilínea y que el peatón P atraviesa también en línea recta, perpendicularmente (fig 1). Tomamos las velocidades del automóvil, v_A , y del peatón, v_P , como constantes: no sólo porque es la situación más sencilla, sino porque el peatón ha de atravesar sin obligar a frenar al automóvil".



La discusión acerca de la constancia de las velocidades es del mayor interés y no siempre se produce espontáneamente. No se trata sólo de una simplificación como las que suelen hacerse para facilitar la resolución de un problema sino que constituye una cuestión esencial de educación vial: el conductor también evalúa la situación y ha de poder seguir su movimiento sin frenar ni desviarse bruscamente (con los peligros que ambas cosas comportan). Por supuesto la discusión puede ir más lejos y contemplar la cuestión de las velocidades máximas a las que circulan los coches y de la distancia mínima entre ellos. En efecto, si el peatón ha alcanzado un automatismo, basado en la distancia a la que percibe los coches y en la velocidad máxima a la que estos circulan habitualmente, ¿qué ocurrirá cuando un conductor circule a mayor rapidez o acelere una vez el peatón ha comenzado ya a atravesar? ¿Qué puede ocurrir, por otra parte, si el coche frena y hay otro automóvil detrás que no ha respetado la distancia mínima que corresponde a su velocidad? Se trata, pues, de proceder a opciones que van más allá de la simple modelización simplificadora y que pueden dar lugar a debates muy vivos. Los alumnos, por último, añaden la siguiente precisión para acotar el problema:

"Cabe pensar que el peatón atravesará si puede llegar a la otra orilla antes que el automóvil llegue a su altura, es decir, el peatón ha de pasar de P_1 a P_2 antes de que el automóvil llegue a A_2 " (fig 2).



También esta clarificación de las condiciones en las que el peatón decidirá pasar genera discusión: algunos señalan, razonablemente, que sería preciso ampliar el margen de seguridad. En cualquier caso, la reformulación del profesor permite alcanzar un consenso en torno a la necesidad de que ni el peatón ni el conductor se vean obligados a acelerar o desviarse, como expresión de que la acción del peatón no genere peligro. Ello puede concretarse en que *el peatón ha de llegar a la otra acera antes que el coche llegue a su altura* (el tiempo empleado por el peatón en realizar su movimiento ha de ser menor que el del automóvil). Se puede, pues, resolver el problema en términos de *desigualdad*, dejando así un amplio margen a las condiciones de seguridad que cada peatón puede considerar necesarias.

Una dificultad particular es la que presenta la traducción del enunciado ("¿Pasará o no el peatón?") a una forma que implique alguna magnitud concreta. No basta, en efecto, con acotar y modelizar la situación para tener un problema: se ha de saber lo que se busca. Una posible pregunta que cabe esperar que los alumnos se formulen a este respecto es la siguiente:

"¿Con qué velocidad debe pasar el peatón (para atravesar la calle antes de que el automóvil llegue a su altura)?".

Se trata de una cuestión que dirige la resolución hacia el cálculo de la velocidad que ha de llevar el peatón:

"Si dicha velocidad está dentro de márgenes razonables (para el peatón en cuestión) pasará; en caso contrario se parará".

Son posibles, sin embargo, otros enfoques y conviene solicitar un esfuerzo para concebir otras preguntas. Surgen así, por ejemplo, las siguientes:

"¿Qué velocidad máxima puede llevar el automóvil (para que el peatón pueda atravesar la calle antes de que llegue a su altura)?" "¿A qué distancia mínima ha de encontrarse el automóvil?", "¿De cuánto tiempo dispone el peatón para pasar?", etc.

Todas estas preguntas son formas de plantear *el mismo problema* y resultará conveniente que se resalte al analizar los resultados.

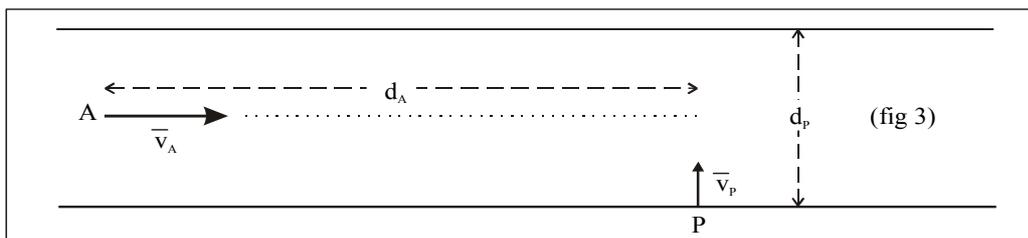
Se ha llegado de este modo a formular un problema concreto a partir de la situación problemática inicial. Conviene, por supuesto, proceder a sintetizar el trabajo realizado, es decir, solicitar dicha síntesis de los propios alumnos. No la transcribimos aquí para evitar repeticiones y pasamos, pues, a la **formulación de hipótesis** susceptibles de focalizar el problema y de orientar su resolución.

Si el problema ha quedado formulado como "¿Con qué velocidad ha de atravesar el peatón (para atravesar la calle antes de que el automóvil llegue a su altura)?" las hipótesis formuladas por los distintos grupos indican que "la velocidad mínima que ha de llevar el peatón, v_p , dependerá de (ver fig 3):

la velocidad del automóvil, v_A (cuanto mayor sea ésta más deprisa habrá de atravesar el peatón; obviamente, para $v_A = 0$ la velocidad del peatón puede hacerse tan pequeña como se quiera

la distancia inicial a que se encuentra el automóvil, d_A (cuanto mayor sea ésta, menor puede ser la velocidad del peatón).

la anchura de la vía, d_p (cuanto mayor sea ésta más aprisa habrá de pasar el peatón; de hecho, una anchura muy grande hace impensable atravesar, a menos que la visibilidad sea excelente y permita ver el automóvil desde distancias también muy grandes)



Todo lo anterior puede esquematizarse en una expresión como:

$$\vec{v}_p = f(\vec{v}_A, d_A, d_p)$$

Dicha expresión indica los factores de que depende la velocidad mínima a la que puede atravesar el peatón y da cualitativamente el sentido de su influencia,

pero conviene evitar que estas formulaciones esquemáticas -que resultan poco significativas- substituyan a la explicación detenida del sentido de las variaciones. Por ello insistimos, una vez más, en que no conviene descomponer esta tarea, como se hace cuando se pide, por ejemplo, "¿de qué dependerá v_p ?" para, a continuación, solicitar el sentido de las variaciones. Esto favorece las presentaciones esquemáticas, la inclusión de factores que no juegan ningún papel, etc. Es preciso, pues, cuando los estudiantes señalan algún posible factor, preguntarles por qué lo incluyen y no contentarse tampoco con formulaciones abstractas del tipo: "*si v_A aumenta v_p aumentará*", sino pedir ¿qué significa eso? hasta conseguir que el enunciado sea más significativo: por ejemplo, "*cuanto mayor sea la velocidad v_A a que circula el automóvil, más aprisa tendrá que pasar el peatón, es decir, mayor habrá de ser la velocidad mínima v_p que puede llevar el peatón*". Del mismo modo hay que evitar la utilización mecánica de algunos casos límites como "*si v_A tiende a cero v_p tenderá a cero también*" que ha de dejar paso a expresiones más significativas del tipo "*si la velocidad del automóvil se hace muy pequeña (tiende a cero), la velocidad que ha de llevar el peatón puede disminuir también, es decir, la velocidad **mínima** v_p que ha de llevar el peatón tiende a cero... lo que no quiere decir, por supuesto, que vaya a atravesar la calle con velocidad nula*".

Podemos pasar ahora al **diseño de posibles estrategias de resolución**. Las mayores dificultades con que los alumnos tropiezan para encontrar estrategias adecuadas tienen lugar cuando no asocian esta búsqueda con lo que ya han realizado, es decir, con las hipótesis enunciadas y con el mismo análisis cualitativo de la situación. Conviene, pues, insistir explícitamente en ello, hasta que se convierta en algo "connatural" para los alumnos, pidiendo que conciban alguna(s) estrategia(s) de resolución, teniendo en cuenta la forma en que ha sido formulado el problema y las hipótesis enunciadas. Ello permite a los alumnos elaboraciones como la siguiente:

"Se trata de tener en cuenta que el tiempo tardado por el peatón en atravesar la calle (con movimiento uniforme), t_p , ha de ser menor que el t_A empleado por el automóvil en llegar a su altura (también con movimiento uniforme); es decir, se ha de cumplir que $t_p < t_A$. Basta, pues, poner dichos tiempos en función de las distancias y velocidades (constantes) respectivas, puesto que son esas las magnitudes que figuran en las hipótesis"

Vemos así cómo las hipótesis y el análisis cualitativo en que se basan juegan un papel orientador sin el cual la búsqueda de estrategias de resolución se convierte en algo quasi aleatorio, guiado simplemente por la necesidad de encontrar las ecuaciones que pongan en relación las incógnitas con las otras variables.

¿Qué otras estrategias pueden imaginarse? Es lógico que se piense en estrategias cinemáticas como la que acabamos de transcribir, pero ello no excluye una cierta diversidad de aproximaciones, formulando el problema de manera distinta (planteando, p.e., el cálculo de la velocidad máxima que puede llevar un automóvil para que el peatón se atreva a pasar,) o utilizando un tratamiento gráfico, etc.

Como es lógico, los alumnos no tienen dificultad en obtener:

$$d_p/v_p < d_A/v_A \text{ y de aquí } v_p > v_A \cdot d_p/d_A$$

(si lo que se persigue es determinar la velocidad mínima que ha de llevar el peatón) o bien:

$$v_A < v_p \cdot d_A/d_p$$

(si lo que se busca es la velocidad máxima que puede llevar el coche) o bien:

$$d_p < d_A \cdot v_p/v_A$$

(si se calcula la anchura máxima que puede tener la calle, etc.).

Quizás las mayores dificultades las plantee la lectura significativa de este resultado -más allá de la pura expresión matemática- evidenciándose así, una vez más, la escasa práctica en el trabajo de interpretación física. En este problema, sin embargo, dicha interpretación es sencilla y los alumnos pueden constatar, sin mayores dificultades, que *"el resultado da cuenta de las hipótesis concebidas (tanto en el sentido general de las variaciones como en los casos límite concebidos). Podemos así ver que cuanto mayor sea la distancia a la que se divisa*

*el automóvil más despacio **podrá** ir el peatón, mientras que cuanto más ancha sea la calle (o a más velocidad vaya el automóvil) más aprisa **tendrá** que ir el peatón".*

Vale la pena, sin embargo, insistir en la búsqueda de otros argumentos que permitan aceptar o rechazar dicho resultado, contrariando la tendencia a darse fácilmente por satisfechos sin mayores cuestionamientos (actitud característica del pensamiento ordinario, con el que es preciso romper). Los alumnos pueden añadir así algunas consideraciones pertinentes, como *"el resultado es dimensionalmente correcto; las distancias recorridas por cada móvil son proporcionales a sus respectivas velocidades (como corresponde a movimientos uniformes), etc."*

Mayor interés puede tener solicitar una estimación numérica correspondiente a una situación real (una vía próxima al Centro escolar) para proceder, a continuación, a una contrastación experimental (o a simulaciones con ordenador).

La discusión de las estimaciones permite salir al paso de algunas suposiciones inverosímiles: considerar, p.e., que el coche lleva una velocidad de 60 m/s, o suponer que el coche se encuentra tan cerca del peatón que éste se ve obligado a batir records de velocidad. Se favorece así el entrenamiento en la estimación y evaluación cualitativa de cantidades, a la que los científicos recurren muy frecuentemente.

La contrastación experimental -semicuantitativa- es en este caso muy simple y los grupos de alumnos obtienen valores similares y plausibles para la velocidad mínima que ha de llevar el peatón.

Puede ser interesante solicitar de los alumnos que conciban otros problemas relacionados con los que acaban de resolver, incidiendo así en un aspecto clave de la investigación científica: **las implicaciones y perspectivas del estudio realizado**. Algunas propuestas de los alumnos resultan, sin duda, de interés; por ejemplo:

"Se puede pensar en la determinación de la velocidad mínima a que se debe atravesar un semáforo".

Ésta es una situación aún más ordinaria (iy segura!) que la abordada aquí y por ello mismo de mayor interés práctico. La cuestión de la decisión -pasar o

esperar- se mantiene y de hecho observamos con frecuencia peatones que atraviesan corriendo cuando el naranja ya se ha encendido, mientras que otros esperan hasta que el semáforo vuelve a ponerse verde. Otra situación muy similar al problema resuelto (tiene exactamente el mismo resultado) pero raramente planteada es la siguiente: "*¿Se alcanzará a los fugitivos antes de que alcancen la frontera?*".

Sí suele plantearse la situación opuesta en la que es el conductor el que ha de tomar la decisión:

"Un automovilista percibe a un peatón atravesando un paso de cebra ¿Conseguirá parar antes de atropellarlo?". Se plantean también situaciones como "¿Chocarán dos automóviles que confluyen en un cruce de escasa visibilidad?", o bien, "¿Arrollará el tren al automóvil que cruza el paso a nivel?", etc.

Imaginar estas situaciones -imaginar, en definitiva, nuevos problemas- constituye, repetimos, una actividad del mayor interés y conviene que la cuestión sea planteada, allí donde sea posible.

Conviene, por último, solicitar de los alumnos una **recapitulación de los aspectos más destacados del tratamiento de este problema**, tanto desde el punto de vista metodológico como desde cualquier otro. Por nuestra parte destacaríamos los siguientes:

- Nos hemos referido, en primer lugar, a la conveniencia de plantear una reflexión previa acerca del interés de la situación problemática planteada (que en este caso concreto tiene claras implicaciones en aspectos de educación vial) como forma de favorecer una actitud más positiva de los alumnos y de romper con actitudes puramente escolares de "seguimiento de consignas".
- El tipo de enunciado propuesto (¿atrasamos la calle o nos esperamos?) ha permitido enfrentar a los alumnos con la tarea -pocas veces planteada- de precisar cuál es la magnitud a determinar, ampliando así la toma de decisiones que el paso de una situación problemática a un problema concreto conlleva. La modelización de la situación problemática ha permitido, más allá de las típicas simplificaciones, plantear opciones de

interés acerca de la regulación del tráfico, del problema de la seguridad vial, etc.

- Otra singularidad de interés es la que representa una resolución en términos de desigualdad (*"la velocidad del peatón ha de ser mayor que..."*) a lo que los alumnos, en general, están poco acostumbrados.
- Hemos insistido en la formulación significativa de las hipótesis (superando la mera enumeración de factores) y en la necesidad de un cuestionamiento del resultado tan profundo como sea posible (sin conformarse con las primeras verificaciones).
- Hemos visto también la posibilidad de introducir estimaciones cualitativas y contrastaciones experimentales, que permiten ir más allá de la simple resolución de lápiz y papel y a las que conviene recurrir siempre que sea posible.
- Por último, hemos visto la posibilidad de enfrentar a los alumnos con la tarea de concebir nuevos problemas.

Posiblemente otras personas pueden haber operativizado el mismo problema de otro modo, o pensado en otra estrategia. Es conveniente comprobar si se llega a resultados equivalentes, por caminos distintos. En algunas ocasiones, el resultado obtenido no coincidirá con lo avanzado en las hipótesis y será necesario reflexionar sobre el proceso seguido y sobre la misma validez de las propias hipótesis, lo que obligará a profundizar en nuestras ideas sobre la situación y, en consecuencia, a aprender más.

Una vez obtenido el resultado con letras (si hubiéramos utilizado números no habríamos podido analizar el resultado, ni extraer interpretaciones físicas generales); es muy conveniente pensar en posibles valores numéricos para las variables que aparecen en el problema: imaginar posible valores de los datos y realizar los cálculos y dar el valor numérico.

Además de las actividades de introducción de conceptos y modelos, los trabajos prácticos y la resolución de problemas de lápiz y papel, dentro de la estructura problematizada incluimos actividades especialmente dirigidas a resaltar las relaciones CTSA, que contribuyen a transmitir una imagen más contextualizada y menos académica de la ciencia, y a generar actitudes positivas (Furió y Vilches, 1997; Solbes y Vilches, 1989; Solbes y Vilches, 1997; Fernández et al., 2002; Valdés et al., 2002). Ejemplos de este tipo de actividades son las siguientes (se realizan en distintos momentos del tema)

A.47. Recoge en forma recortes, las noticias que aparezcan en la prensa y hagan referencia a aspectos relacionados con el tráfico y las magnitudes introducidas en clase y elabora después un cartel con ellos.

A.48. Busca en una revista o periódico las características técnicas de un modelo de coche e interpretalas utilizando las magnitudes introducidas. Cómo verás se indican los gramos de CO₂ /100 km. ¿Qué significa eso? ¿Por qué es importante?

A.49. En los últimos años los accidentes de carretera por exceso de velocidad han aumentado. ¿Por qué es necesario un límite de velocidad según las vías? ¿Qué opinas de la fabricación de coches cada vez más rápidos? ¿Sabrías explicar por qué es necesario mantener una distancia de seguridad entre dos vehículos?

A.50. Compara el tiempo que se tarda en ir de tu casa a un cine de tu ciudad, andando, en bicicleta y en coche. Compara ventajas e inconvenientes de los distintos medios de transporte.

A.51. Utilizando lo que has aprendido sobre el movimiento, plantea las ventajas e inconvenientes de la limitación de velocidad en las ciudades.

3.3.5. La recapitulación como situación de reflexión sobre lo avanzado y sus limitaciones. Un ejemplo donde se toma conciencia de la insuficiencia de lo hecho y se replantea y profundiza el proceso seguido.

Ya hemos reiterado que la estructura problematizada favorece de un modo natural la realización de pausas de reflexión para recapitular el avance producido en el problema y lo que queda por hacer.

Al escribirlas recapitulaciones parciales, los alumnos se van obligando a recordar el problema inicial, su interés y la estrategia seguida, así como a valorar lo que se ha avanzado en la solución del problema.

Precisamente, la valoración del avance respecto al problema inicialmente planteado, favorece la toma de conciencia de las limitaciones de lo hecho. Esto es lo que ocurre cuando muy avanzado el tema de cinemática se realiza una recapitulación parcial.

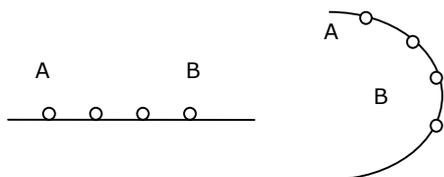
A.33 (recapitulación parcial) Leer detenidamente la introducción del tema donde planteabamos el problema que estamos tratando y su interés. Revisar todo lo que hemos hecho hasta aquí y valorar si hemos resuelto el problema. Escribe qué podemos hacer sobre el problema planteado (qué hemos avanzado) y qué no sabemos hacer.

Esta actividad deben realizarla los alumnos por escrito (inicialmente se entregan guías para organizar su exposición) y entregarlas como actividad de evaluación, que se devuelve comentada. Una de ellas se presenta oralmente en clase con la intención de favorecer la reflexión colectiva. En esta recapitulación se constata un gran avance producido en el problema de caracterizar y diferenciar la "esencia" del movimiento (sin tener en cuenta la naturaleza del móvil); pero también que he hecho no permite diferenciar movimientos de trayectorias diferentes, algo fundamental para avanzar en el problema estructurante de toda la mecánica.

Esto da pie a la intervención del profesor que se presenta en el cuadro siguiente y se justifica la necesidad de la introducción de magnitudes vectoriales.

II. LIMITACIONES DEL ESTUDIO SOBRE LA TRAYECTORIA (después de la recapitulación parcial)

Como ya advertimos al elegir la posición sobre la trayectoria, e , para indicar dónde se encuentra el móvil, su utilización se restringe a los casos en que se puede medir sobre la trayectoria. Será, probablemente, muy útil y sencillo para estudiar movimientos como el de vehículos, trenes,..., donde se pueda indicar la posición midiendo la distancia desde el origen del SR hasta donde esté el móvil, siguiendo la trayectoria. En estos casos, decir que la rapidez tiene un determinado valor, basta para hacernos una idea exacta de dónde estará el móvil, pues sólo puede ir sobre la trayectoria y podemos medir sobre ella. Esto equivale a ignorar la trayectoria. El cuentakilómetros y el velocímetro de un coche nos dan valores de la posición y de la rapidez, independientemente de que la trayectoria sea recta o curvilínea.



Todo ello supone una pérdida de información para caracterizar los movimientos: con las magnitudes que hemos introducido hasta aquí un movimiento rectilíneo realizado a $v = 5$ m/s, es indistinguible de otro circular realizado con la misma $v = 5$ m/s. Y nosotros sabemos que dichos movimientos no son idénticos. De hecho, intuitivamente, pensamos que en el caso del movimiento circular de la figura, la situación del móvil al pasar de A a B, es análogo a la de haber experimentado un verdadero "retroceso".

Por tanto, el estudio sobre la trayectoria:

- a) No es utilizable cuando no se puede medir sobre la trayectoria, como en el movimiento de la Luna, el de una piedra lanzada horizontalmente, etc.
- b) No sirve para diferenciar movimientos de trayectorias distintas, ya que la e , v y/o la a no dan información alguna sobre la trayectoria. Con estas magnitudes no se puede contestar la pregunta ¿en qué se diferencia un movimiento rectilíneo de otro circular?, y no son de ayuda, por tanto, para avanzar en la solución al problema de ¿cómo conseguir que el movimiento de un cuerpo sea de una forma determinada?

Así pues, si buscamos explicaciones universales comunes para el movimiento de todas las cosas, tenemos poderosas razones para realizar un estudio del movimiento que permita tener en cuenta la existencia de trayectorias distintas. Esto sólo puede realizarse, de un modo general, si la posición del móvil se indica sin necesidad de medir sobre la trayectoria. Vamos, por tanto, a contestar a las mismas cuestiones que antes, pero partiendo de este modo de indicar la posición

Además de las recapitulaciones parciales, al finalizar cada tema se realizan recapitulaciones globales donde se hace referencia al problema inicial, a las cuestiones que se han avanzado y las que quedan pendientes, así como a posibles preguntas que hayan surgido a lo largo del mismo. Esto permite seguir el hilo conductor de lo trabajado en clase y poder enlazar el problema-tema siguiente. De este modo, la recapitulación no es un mero resumen de conceptos o relaciones que se han introducido en el tema, sino que supone una toma de conciencia del propio aprendizaje, del avance conseguido. En el anexo I se muestran ejemplos de recapitulaciones de los alumnos y las guías que se les facilita.

Ejemplos de Actividades de recapitulación al final del tema

A.44 Revisar cuáles eran las preguntas que nos planteábamos al inicio del curso, el problema más concreto que hemos tratado en este tema y valorar en qué medida hemos avanzado.

A.45 Realizar un cuadro-resumen de las magnitudes introducidas, incorporando las vectoriales. Identificar tipos de movimientos según el valor de dichas magnitudes.

A.46 Plantear problemas abiertos que han quedado por resolver, e indicar qué es lo que vamos a tratar a continuación, según el hilo conductor del curso.

En estas actividades se puede hacer referencia, entre otras, a las siguientes cuestiones abiertas: ¿cómo plantear el estudio de movimientos más complicados, como el tiro horizontal y oblicuo, el movimiento circular, los movimientos vibratorios, etc.?; ¿los conceptos y ecuaciones introducidos serán igualmente válidos en cualquier sistema de referencia?; ¿qué es lo que hace que el movimiento de un cuerpo cambie según convenga?; ¿cómo influye el aire en el movimiento de los cuerpos?; ¿Por qué algunos cuerpos ligeros flotan y otros como un globo lleno de helio o de aire caliente, suben?; ¿cómo abordar el estudio del

movimiento de objetos y sistemas extensos, sin considerarlos como un solo punto material tal y como hemos hecho aquí?

Algunas de estas preguntas serán retomadas en temas posteriores de este mismo curso (dinámica, fluidos, síntesis newtoniana) y otras, en cursos posteriores (sistemas de partículas, rotación, relatividad, etc.). Exponer estas cuestiones al finalizar el tema ayuda a que los alumnos aprecien el carácter tentativo y abierto del trabajo científico, lo que es un objetivo fundamental del curso. De este modo, la importancia del estudio realizado queda patente, no sólo por las cuestiones que ha permitido abordar, sino también por los nuevos caminos que ha abierto.

3.3.6. Ejemplo de como el criterio de universalidad influye en la estrategia.

El siguiente ejemplo pone de manifiesto que el compromiso de universalidad, característico de la ciencia, influye en el hilo conductor del tema, de manera que guía las actividades a realizar y del hilo conductor del mismo. Buscar criterios científicos como el compromiso de universalidad y de ideas unitarias, es decir, la búsqueda de concepciones globalizadoras como uno de los motores del desarrollo del conocimiento científico (Martínez Torregrosa y Verdú, 1993) es un criterio para organizar y secuenciar el curso.

En el tema de ¿Qué es lo que hace que el movimiento de un objeto sea de un tipo u otro, qué sea como es? (Dinámica), se ha planteado qué hace falta para que haya aceleración y esto ha llevado a la invención del concepto de fuerza como interacción entre dos cuerpos, y llega un momento donde aparece una asimetría, hay cuerpos que sufren aceleración, en contacto con otros, y otros como la Luna en que este contacto no es evidente. Surge la pregunta de si hay cuerpos que pueden acelerarse sin contacto. La respuesta se basa en criterios como la universalidad: la hipótesis de la Gravitación Universal.

Con las actividades iniciales se pone de manifiesto la necesidad de una fuerza, interacción, para que los cuerpos cambien su estado de movimiento o reposo, pero

¿de dónde vienen esas fuerzas?, ¿acaso pueden algunos cuerpos acelerarse - hacerse fuerzas- a sí mismos y otros no? ¿Qué ha de ocurrir para que actúe una fuerza sobre un cuerpo? Se trata de una cuestión fundamental que hemos de resolver si queremos tener una explicación de las causas de que un movimiento sea de una u otra forma. El profesor plantea con razonamientos como los que siguen este problema en el aula.

I.3. ¿PUEDEN LOS CUERPOS ACELERARSE A SÍ MISMOS? (3er Principio de la Dinámica)

Es necesario que advirtamos que si aceptáramos la idea de que algunos cuerpos pueden acelerarse por sí mismos y otros no, estaríamos renunciando a encontrar una explicación unitaria, universal, de por qué los movimientos son como son, al aceptar que existen diferencias esenciales en el movimiento de los cuerpos según fuera la naturaleza de los mismos. Equivaldría a admitir, por ejemplo, que los seres vivos pueden acelerarse por sí solos, pero los inanimados que están en reposo o m.r.u. no; que acelerarse hacia abajo es una propiedad de los cuerpos pesados pero no de otros, como un globo lleno de hidrógeno; o que la Luna tiene la propiedad de acelerarse por sí misma de modo perpendicular a su velocidad (de modo que su m.c.u. sería "natural"), algo que no ocurre con los objetos que tienen movimiento circular en la superficie terrestre (debe haber una cuerda o algo que les ejerza una fuerza).

Por tanto, en la búsqueda de una explicación unitaria de por qué los movimientos son de una u otra forma, la cuestión de "qué hace falta para que actúe una fuerza sobre un cuerpo" es, como ya hemos dicho, una cuestión crucial, y debemos tratar de encontrar una respuesta que pueda ser común a todos los movimientos independientemente de la naturaleza del cuerpo que se mueve.

La búsqueda de explicaciones universales, unitarias, lleva a plantear una estrategia a seguir. En primer lugar se aborde el problema de ¿Qué hace falta para que actúe una fuerza sobre un cuerpo? Para reflexionar sobre este punto, nos centrarnos en un caso en el que no intervenga ser vivo alguno para evitar que nos sintamos implicados como "agentes", como el choque entre dos bolas, de distinta masa, que se mueven con velocidades constantes por una superficie horizontal sin rozamiento (una mesa de billar ideal) o dos discos de acero que se mueven en una superficie horizontal de hielo seco. De modo que, a título de hipótesis -cuya validez dependerá de la validez de todo lo que se deduzca a partir de la idea de fuerza elaborado- diremos que: un cuerpo no puede acelerarse, hacerse fuerza, a sí mismo; para que haya una fuerza sobre un cuerpo, tiene que haber dos, es decir, para que haya fuerza tiene que haber interacción (acción mutua y simultánea) entre dos cuerpos. Cuando dos cuerpos interaccionan, independientemente de que sean seres vivos u objetos inanimados, actúan fuerzas simultáneas sobre cada uno de ellos, que duran mientras dura la interacción.

Pero, hay algo que queda por "encajar": sobre un cuerpo que sube o cae o sobre la Luna no vemos ningún tipo de "contacto" con algún otro cuerpo que pudiera explicar que exista una fuerza sobre ellos (en el caso del corredor y el coche, hemos encontrado el suelo, en el caso del globo, el aire,..). Si no deseamos admitir que haya diferencias entre estos cuerpos y los demás, hemos de preguntarnos de dónde proviene, a que interacción puede deberse, el peso de los cuerpos y la fuerza que debe actuar sobre la Luna para que tenga un m.c.u.

I.3.2 La hipótesis de la Gravitación Universal de Newton: la llave que hace que todo encaje.

A.17 Formular hipótesis sobre a qué puede ser debido el peso de los cuerpos o la fuerza que actúa sobre la Luna.

A.17.1 Dibujar los pares acción/reacción del peso de un cuerpo y de la fuerza que actúa sobre la Luna.

A.18 Formular hipótesis sobre de qué factores dependerá la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos, y proponer posibles maneras de contrastarlas.

Es el momento, pues de que contestemos, a algunas cuestiones que nos planteamos a principio de curso:

A.19 a) Si la Tierra atrae tanto a una piedra que se lanza al aire como a la Luna, ¿por qué no cae la Luna sobre la Tierra igual que le ocurre a la piedra?. b) Señala semejanzas y diferencias entre el movimiento de una persona que se lanza desde un avión y el de un astronauta en órbita alrededor de la Tierra, fuera de su nave. c) ¿Qué haría falta para que una piedra describiera órbitas alrededor de la Tierra? d) Ya hemos visto en cursos anteriores que los gases tienen masa, y, por tanto, serán atraídos por la Tierra, es decir, pesan. ¿En qué condiciones podría un globo de gas caer como una piedra?

"El que los planetas puedan ser retenidos en sus órbitas, es algo que podemos comprender fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles. En efecto, una piedra arrojada horizontalmente sobre la superficie terrestre, por su propio peso, se ve forzada a abandonar la trayectoria rectilínea..., viéndose obligada a describir una línea curva en el aire, y merced a este camino torcido se ve finalmente llevada al suelo. Cuanto mayor sea la velocidad con que se proyecta, más lejos va antes de caer a tierra.

Podemos suponer, por tanto, que si la velocidad se incrementa de tal modo que describa un arco de muchas millas antes de llegar a la tierra, finalmente excediendo los límites de la tierra, pasará totalmente sin tocarla, pudiendo girar alrededor de ella".

Newton, en el siglo XVII, avanzó por primera vez una explicación física de las mareas (en algunas costas la diferencia de altura del agua entre la marea baja y la marea alta es de varios metros). Hasta entonces, sus causas habían sido un "misterio".

A.21 Recapitular todo lo hecho con la hipótesis de la Gravitación Universal de Newton y argumentar por qué se considera la "pieza" que hace posible una explicación universal, unitaria, común, del movimiento de todas las cosas.

Admitir que existe una interacción entre la Tierra y un objeto o entre la Tierra y la Luna, supone que (igual que cuando hay un choque entre dos monedas) si la Tierra atrae a un objeto con una fuerza (el peso del objeto), el objeto ejercerá una fuerza igual y opuesta sobre la Tierra. Pero ¿qué pasaba entonces entre el Sol y la Tierra, y con Venus y Júpiter? Newton avanzó la idea de que la atracción gravitatoria era una propiedad general de toda la materia, debida a que los cuerpos tienen masa (al igual que las fuerzas eléctricas se deben a la carga eléctrica de los cuerpos). Según esto, la interacción gravitatoria no se ejerce sólo entre los planetas o entre la Tierra y otros cuerpos, sino que entre dos cuerpos cualesquiera existe atracción gravitatoria.

Con todo, lo más sorprendente de la hipótesis de la Gravitación Universal (después Ley, tras ser contrastada positivamente), es que anulaba las diferencias entre el movimiento de los cuerpos terrestres y el de los celestes: no hay ninguna diferencia entre el peso de un cuerpo y la fuerza que hace posible que la Luna gire alrededor de la Tierra.

En las últimas actividades, los alumnos toman conciencia de los avances conseguidos en su aprendizaje y de la diferencia entre sus conocimientos y los de su entorno, comparando sus nuevas respuestas con las dadas por ellos mismos al principio del curso o por sus familiares y amigos, contribuyendo a la reflexión sobre el propio aprendizaje.

En este capítulo hemos analizado algunos ejemplos de esta forma de estructurar los cursos (síntesis globales) o temas puntuales, mostrando que es posible organizar los temas y cursos con una estructura problematizada. En la **tabla 3.1** (página 102) existe una amplia relación de materiales elaborados con esta estructura.

En los fragmentos mostrados y discutido, se han puesto ejemplos de distintos tipos de actividades genuinas de la estructura problematizada, de esta forma de organizar la enseñanza: planteamiento de problemas, introducción de conceptos, teorías y/o modelos, puesta a prueba con los trabajos prácticos y la resolución de problemas de lápiz y papel como pequeñas investigaciones, las actividades de

relaciones CTSA, actividades de evaluación y recapitulación,... Además hemos mostrado un ejemplo del estudio empírico de interés generado por la forma de planificar los temas y cursos. En cualquier otro de los temas elaborados podemos encontrar ejemplos análogos a los mostrados hasta aquí.

Podemos, por tanto afirmar que, es posible planificar la enseñanza como resolución de problemas en diferentes temas, cursos y niveles educativos.

RECAPITULACIÓN DE LA PRIMERA PARTE

La primera cuestión que planteábamos al comienzo de este trabajo era si la hipótesis de los modelos de enseñanza por investigación –la necesidad de que la evolución y cambio conceptual vaya acompañado del cambio metodológico y de la implicación actitudinal requerida para que sea posible- suministraba criterios para planificar toda la enseñanza de la Física y la Química, incorporando los logros de la investigación en aspectos parciales. Y, lógicamente, si dichos criterios podían concretarse en propuestas de enseñanza de nuestra materia en distintos niveles y cursos.

En primer lugar, en el capítulo 1, hemos profundizado en la evidencia a favor de dicha hipótesis y justificado que conduce a la organización de la enseñanza con una estructura problematizada. Cuando se organiza la actividad del aula en torno a la solución de problemas *fundamentales* de interés es posible integrar la introducción de conceptos y modelos, los trabajos prácticos, las relaciones ciencia-técnica-sociedad-ambiente, la resolución de problemas de “papel y lápiz” y la evaluación de un modo articulado y funcional. Supone, en definitiva, una forma coherente y global para planificar toda la enseñanza, alternativa a la de la enseñanza por transmisión.

En segundo lugar, hemos mostrado que el proceso de planificación se puede sistematizar resaltando las fases que hemos puesto en práctica para elaborar las secuencias de actividades o programas-guía para nuestras clases. Dicho proceso de planificación es exigente: requiere un sólido conocimiento problematizado de la materia a enseñar y de los logros de la investigación didáctica, así como experiencia docente reflexionada, para llevar a cabo la toma de decisiones que hemos concretado en el capítulo 2. En dicho capítulo hemos precisado las preguntas que deben guiar el estudio histórico-científico y didáctico para elaborar la estructura problematizada de un tema, una gran síntesis o un curso completo. Dicho estudio hace posible identificar el problema estructurante del tema

(resumido en un título en forma de pregunta), proponer una posible estrategia para avanzar en su solución (índice) e identificar pasos necesarios (metas parciales) y obstáculos asociados imprescindibles para que la secuencia de actividades sea relevante didácticamente. Toda esta estructura debe quedar plasmada en un gráfico de estructura problematizada, como los mostrados en el capítulo 3.

De hecho, uno de los logros de esta forma de planificar la enseñanza es que la propia elaboración de la estructura problematizada puede orientar la investigación didáctica, previendo posibles obstáculos (ideas, razonamientos, destrezas,..) y metas cuya superación es necesaria para avanzar en la solución del problema y que deben ser objeto de estudios empíricos. Las ideas y razonamientos que sustentan dichos obstáculos son utilizados para elaborar las actividades concretas, asegurando así la relevancia didáctica. Un ejemplo de ello ha sido presentado, en un obstáculo de Mecánica (la barrera Cielo/ Tierra) en el apartado 3 del capítulo 3. La investigación en marcha sobre el tema "*¿Cómo vemos? ¿Cómo podríamos ver mejor?*" (Osuna, 2001; apartado 2 del capítulo 3) es una muestra de un estudio empírico sistemático sobre los obstáculos previstos *antes* de la elaboración de la secuencia de actividades. En definitiva, se une la investigación sobre razonamientos espontáneos y su persistencia a la actividad del aula constituyendo un claro ejemplo de lo que se considera I + D.

En el capítulo 3 de esta primera parte hemos presentado la evidencia de que estructurar la enseñanza de la Física o la Química en torno a problemas fundamentales *es posible*. Desde finales de los años setenta del siglo pasado, el grupo de profesores organizado en el Seminario Permanente del ICE de la Universidad de Valencia orientó su innovación a elaborar secuencias de actividades para el aula (programas-guía, Furió y Gil, 1978; Gil y Martínez Torregrosa, 1987_b) dentro de una orientación como investigación. Basándonos en esas innovaciones - que han tenido la virtud de plasmarse siempre en propuestas para el aula abiertas a la mejora- y en las investigaciones iniciadas por ese mismo grupo en los años ochenta, hemos ido elaborando y probando desde hace más de una década estructuras problematizadas de cursos y temas, siguiendo el proceso de planificación que hemos descrito en el capítulo 2 (desde el año 1991 de un modo

sistemático). Este trabajo se ha plasmado en la publicación (con la participación de la autora y/ o el director de esta investigación) de más de diez libros "de texto", es decir, en materiales para el aula que abarcan todas las asignaturas de Física y Química para alumnos desde los 13 hasta los 18 años (BUP, COU; ESO y Bachillerato). Los temas elaborados con una estructura problematizada van desde el de "Propiedades generales de la materia" (para alumnos de 2º de ESO (Martínez Torregrosa, Verdú et Al., 1991, 1993 y 1998..) hasta los de "Energía y cambios mecánicos", "Calor y generalización de la conservación de la energía" o "Corriente eléctrica" para alumnos de primer o segundo curso de Bachillerato (Carrascosa, Martínez Sala y Martínez Torregrosa, 2000 y 2001). En la Universidad del País Vasco se están desarrollando dentro de la misma orientación temas para los primeros cursos universitarios (Furió, Guisasola et al., 2003).

En dicho capítulo hemos seleccionado algunos fragmentos –lo que limita una correcta apreciación de todo el trabajo realizado- de los materiales que hemos diseñado con la finalidad de resaltar aspectos genuinos generados por la estructura problematizada. Hemos resaltado cómo planteamos en el aula el inicio de los problemas y la toma de conciencia de su interés; cómo los índices son posibles estrategias para avanzar en los problemas; cómo los conceptos y modelos se introducen de una manera tentativa, hipotética; cómo los trabajos prácticos y los problemas de papel y lápiz se convierten en ocasiones para poner a prueba los conceptos y modelos inventados, o cómo la intención de resolver el problema con criterios tales como la universalidad y la coherencia *da forma* a la secuencia de temas, apartados y actividades, favoreciendo las recapitulaciones con sentido y la conciencia de los límites de lo hecho.

Creemos, pues, que el objetivo de esta primera parte (justificar por qué y cómo organizar la enseñanza de la Física en torno a problemas y mostrar que es posible hacerlo) está sobradamente alcanzado. Más aún, el trabajo realizado ha dado lugar a una línea de investigación sobre elaboración y puesta a prueba de temas específicos que se está desarrollando actualmente con tesis doctorales que parten ya de una planificación basada en nuestro trabajo.

No obstante, podría pensarse, y con razón, que aunque la posibilidad de nuestra propuesta está probada "sobre el papel", lo importante es si funciona: ¿produce mejoras sustanciales en el aprendizaje? ¿mejora las tradicionalmente negativas actitudes hacia el aprendizaje de la Física y la Química? ¿existen posibilidades de que otros profesores se apropien de ella, generando una alternativa real a la enseñanza transmisiva?.

Responder a estas preguntas es el objetivo de la segunda parte de este trabajo, que recoge los resultados obtenidos a lo largo de, al menos, diez años de puesta en práctica de nuestra propuesta.

SEGUNDA PARTE

¿EN QUÉ MEDIDA LA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DE TEMAS Y CURSOS FAVORECE EL APRENDIZAJE?

5.1. Formulación y justificación de la hipótesis

¿En qué medida esta estructura favorece el aprendizaje con sentido? Lo desarrollado en los capítulos anteriores, nos permite afirmar que se puede planificar la enseñanza, y desarrollar los temas y los cursos en el aula, según una estructura problematizada, cuyas características esenciales hemos descrito. La suposición básica del modelo de enseñanza por investigación -la necesidad de favorecer simultáneamente la evolución y cambio conceptual, metodológico y la implicación necesaria para que sea posible- se recoge de una manera integrada y articulada en esta forma de organizar la enseñanza.

Como hemos dicho, existen numerosas investigaciones que muestran resultados muy positivos obtenidos al enseñar a los alumnos a resolver problemas y realizar trabajos prácticos o al planificar la evaluación según el modelo de enseñanza por investigación. También las hay sobre la mejora en el aprendizaje de temas específicos que se han desarrollado en el aula según dicho modelo (p. ej.: energía, introducción del cálculo diferencial, campos eléctrico y magnético, óptica, astronomía, etc.). Todas ellas son aportaciones a favor de que esta forma de organizar la enseñanza favorece un mejor aprendizaje que otras alternativas (normalmente basadas en la transmisión de conocimientos ya acabados, o en secuencias no problematizadas de actividades). Pero se han centrado en aspectos parciales (resolución de problemas, evaluación, trabajos prácticos,..) que quedan englobados dentro de la estructura problematizada y en temas específicos y de un nivel determinado. En esta segunda parte del trabajo, en cambio, queremos encontrar evidencias de que la propia forma de estructurar los temas, el planificar y organizar la enseñanza como hemos descrito en la primera parte, favorece el

aprendizaje. Dicho de otra manera, que, independientemente del tema y nivel elegido, **cuando la enseñanza se planifica y desarrolla siguiendo una estructura problematizada** –con las características descritas- **se producen efectos positivos para el aprendizaje en los alumnos**. También queremos someter a prueba la creencia –escuchada por los investigadores de una manera más o menos formal en numerosas ocasiones- de que esta forma de enseñar/ aprender resulta excesivamente exigente para los alumnos

Aunque la generalidad de la hipótesis formulada permite que su contrastación se realice de múltiples formas que siempre, incluso, podrían ser ampliadas, afortunadamente, como acabamos de decir, no cae sobre nuestro trabajo “todo el peso de la prueba” sobre la validez de la enseñanza por resolución de problemas. Esto hace comprensible algo que es necesario: la limitación a lo factible en un tiempo razonable, lo que significa que podemos centrarnos sólo en algunos de los aspectos que consideramos relevantes. Afortunadamente aunque los trabajos citados se hayan centrado en aspectos parciales o contenidos específicos suponen en su conjunto un apoyo muy importante al modelo de enseñanza/aprendizaje por investigación.

Centrándonos en la forma de estructurar y planificar la enseñanza, esperamos encontrar que:

A. Los alumnos que han recibido instrucción siguiendo una estructura problematizada como la que hemos descrito, se apropien, dándole sentido, de lo que se está tratando en los temas y en el curso, y muestren actitudes muy positivas hacia la enseñanza recibida.

A.1 Los alumnos que han recibido instrucción con una estructura problematizada adquieran una mejor comprensión de los conceptos de Física y Química, en distintos temas, cursos y niveles.

A.2 Los alumnos que han recibido una enseñanza como la propuesta presentan mejores indicadores de apropiación (orientación, motivación/implicación, recuerdo relevante) y expectativas positivas.

B. Los profesores que participen en cursos de formación en activo en los que se presenten, discutan y desarrollen temas de Física y Química según una estructura problematizada como la descrita, muestren expectativas muy positivas sobre las potencialidades de esta forma de estructurar la enseñanza.

No vamos a repetir aquí las razones, ya desarrolladas en la primera parte, en las que se fundamenta la necesidad de que la enseñanza favorezca simultáneamente el cambio conceptual, metodológico y la implicación actitudinal necesaria para que dicho cambio sea posible. Sólo insistiremos en aquéllas que muestran que los hallazgos de la investigación educativa sobre factores que favorecen el aprendizaje con comprensión quedan recogidos, de una manera "natural" y no como algo "ex profeso", en dicha forma de estructurar la enseñanza.

- En primer lugar, la necesidad de despertar el interés y favorecer la apropiación de lo que se está tratando, se ve favorecida con la problematización inicial, con actividades expresamente diseñadas para favorecer el posible interés y generar intriga (Ogborn, et al., 1998; Gabel, 1994 ; Cuccio-Schirripa y Steiner, 2000).
- Esta apropiación, que incluye la orientación necesaria para que tenga sentido la actividad que se desarrolla en el aula, se ve favorecida continuamente al secuenciar el índice del tema siguiendo una estrategia lógica e intencionalmente relacionada con lo que se pretende conseguir, a la que se hace referencia muy frecuentemente en la clase.
- Los posibles obstáculos que pueden tener los alumnos, sus ideas y razonamientos espontáneos, han sido tenidos en cuenta (tras una previsión y su estudio empírico correspondiente) al elaborar la "estructura fina", o secuencia concreta de actividades de aprendizaje/evaluación. Es decir, se incluyen algunas "microsecuencias" (Viennot, 2003) expresamente destinadas a "iluminar" ("spotlighting") y superar los obstáculos. Esta estructura fina, está inserta, además,

dentro de una estructura globalizadora, basada en unas preguntas o situaciones problemáticas planteadas de manera general, que favorecen la coherencia y la universalidad (equivalentes a la elaboración de ideas "supraordenadas" y de "organizadores de avance" en términos de Ausubel), que son características del pensamiento de los expertos en un campo (Bransford et al. (2000), Pág. 42).

- Se genera un ambiente hipotético-deductivo en el que todos –profesor y alumnos- están implicados en avanzar en una situación problemática. En este ambiente, todas las ideas –de los alumnos y del profesor- sobre el problema planteado son consideradas con respeto y, simultáneamente, como hipótesis que deben ser sometidas a prueba. Se ofrecen oportunidades para que los alumnos –organizados en pequeños grupos- expresen sus ideas y para que el posible cambio en las mismas no sea fruto de una estrategia cuyo objetivo era ése. El conflicto cognitivo, en este ambiente de enseñanza/ aprendizaje, se produce porque va acompañado de una toma de conciencia de la insuficiencia de algunas ideas según criterios científicos explícitos. El objetivo no es cambiar las ideas de los alumnos, sino proponer ideas que permitan avanzar y resolver los problemas planteados.
- Actualmente, desde diferentes líneas de investigación, se confirma el importante papel que juega la reflexión sobre el propio aprendizaje y la regulación del mismo (Bransford et al. 2000, Pág. 67; Campanario, 2000; May y Etkina, 2002), lo que supone tomar conciencia de qué se sabe, qué no se sabe bien aún, qué falta por saber,.. Este proceso se ve favorecido de una manera natural por la estructura problematizada que hemos presentado: el índice como una estrategia para avanzar en el problema, el propio ambiente hipotético/ deductivo, el trabajo en pequeños grupos (Rodríguez y Escudero, 2000; Kittleson y Southerland, 2004) que comparten lo que avanzan (o no) con otros y con el profesor, la apropiación del problema y la orientación (saber qué se busca, cuánto se ha avanzado, qué se va a hacer a continuación,...). Además, esta estructura favorece tanto "el hablar como el escribir" ciencia (Sanmartí,

2002; Sanmarti, García e Izquierdo, 2002; Izquierdo y Sanmarti, 2003; Hand y Prain, 2002). La realización de recapitulaciones, sobre lo que se ha tratado por los alumnos, tras un período de entrenamiento, con una estructura lógica, las convierte en una ocasión privilegiada para tomar conciencia (May y Etkina, 2002M) de sus avances y dificultades al final de cada apartado y de cada uno de los temas (en el anexo I, hemos puesto algunos ejemplos de recapitulaciones realizadas por los alumnos).

- Por último, pero muy importante, el proceso de planificación que hemos descrito hasta concretar la secuencia problematizada de actividades, y la incorporación continua de mejoras surgidas de la reflexión sobre la práctica, "obliga", en cierta medida, a una integración del dominio específico de la materia y de los logros de la investigación didáctica. Según nuestra propia experiencia, el compromiso de planificar la enseñanza de una manera problematizada, tras un estudio histórico y epistemológico como el descrito en el capítulo 3, exige volver a pensar los conocimientos científicos que hemos adquirido en nuestra formación inicial o en los textos académicos, hacernos preguntas que no es habitual encontrar en los textos (¿Qué problema debían tener planteado para que se les "ocurriera" esto?; ¿qué razones obligaron a abandonar aquello en lo que habían creído...? ¿Cómo hemos llegado a saber...? ¿Por qué creyeron/creemos esto y no aquello?,...). Esta integración entre conocimiento científico específico y didáctico –obligada, en buena medida, por la estructura problematizada-, es clave para una buena enseñanza.

No esperamos que el grado de implicación necesaria para generar **por primera vez** esta integración entre el conocimiento científico y didáctico, sea exigible a todos los profesores. Pero sí creemos que, de la misma manera que la buena enseñanza facilita el aprendizaje en los alumnos, es posible conseguir esta integración mediante una formación adecuada de los profesores, y que en aquéllos que han decidido enseñar según una estructura problematizada dicha integración será más probable y de más calidad que la que pueda existir en otros profesores.

5.2. Operativización de la hipótesis en consecuencias directamente contrastables

La primera parte de nuestra hipótesis, que se refiere a los alumnos, afirma que:

A. Los alumnos que han recibido instrucción siguiendo una estructura problematizada como la que hemos descrito se apropian, dándole sentido, de lo que se está tratando en los temas y en el curso, adquieren un aprendizaje conceptual mejor y muestran actitudes muy positivas hacia la enseñanza recibida.

La contrastación de esta hipótesis requiere concretar el enunciado anterior en consecuencias mensurables, lo que, previamente, exige que definamos operativamente qué entendemos por "apropiarse con sentido de lo que se está tratando". De un modo operativo, en esta investigación, partiremos de la premisa de que los alumnos "se apropian de lo que se está tratando en un tema y en un curso, y tienen actitudes positivas hacia la enseñanza recibida" cuando muestran evidencias de conseguir los indicadores reflejados en **cuadro 5.1** siguiente:

Cuadro 5.1 Indicadores de apropiación de lo tratado y de actitudes positivas hacia la enseñanza

1. **Orientación**, que se pondría de manifiesto cuando se cumple alguno, o ambos, de los siguientes aspectos: a) Conocer qué interés tiene lo que se está haciendo (de una manera cualitativa y global); b) Ser consciente de que lo que se está haciendo se enmarca dentro de un objetivo o finalidad más general, es decir, sentirse partícipe de un plan y saber dónde se encuentra en el desarrollo de dicho plan: qué se está buscando, cuánto se ha avanzado, o qué se encontrará si el plan se llevara a cabo con éxito.
2. **Implicación/ motivación**, que se pondría de manifiesto cuando se expresa una actitud positiva hacia lo que se está haciendo (atractivo o interesante, p. ej.), y/o se tiene sensación personal de "avance", de aprendizaje (hemos aprendido a...).
3. **Recuerdo relevante, con sentido físico**, de lo tratado, mostrando un conocimiento de ideas importantes, globalizadoras, que pueden ser expresadas cualitativa y coherentemente, sobre lo que se ha hecho.
4. **Mejor comprensión de los conceptos fisicoquímicos por los alumnos.**

Y, aunque algunos de los indicadores anteriores (p. ej.: sensación de aprendizaje, encontrar atractivo lo que se está haciendo,..) lo son también de actitudes positivas hacia, o generados por, la enseñanza recibida y viceversa, los complementaremos (haciendo más exigentes los criterios para admitir la generación de actitudes positivas *debidas* a la forma de estructurar la enseñanza) añadiendo el siguiente indicador:

5. **Actitud positiva hacia la enseñanza recibida**, que se pondrá de manifiesto si los alumnos perciben que dicha enseñanza facilita el aprendizaje y genera actitudes positivas hacia el aprendizaje de la Física y la Química.

De un modo operativo, pues, en lo que se refiere a los alumnos, nuestra hipótesis afirma que, **la enseñanza con una estructura problematizada produce mejores resultados en los indicadores de apropiación y en las actitudes de los alumnos que la enseñanza habitual**

Respecto a los profesores en activo, nuestra hipótesis afirma, que aquellos que participan en actividades formativas donde tienen ocasión de conocer con detenimiento la forma de estructurar y organizar la enseñanza en torno a problemas, adquieren expectativas muy positivas sobre las potencialidades de esta forma de estructurar la enseñanza. Si esto es así, esperamos encontrar que profesores en activo que realizan **cursos de formación sobre distintos temas con una estructura problematizada, y con distintos instructores:**

B.1 Valoran que esta forma de trabajar favorece la implicación y el interés de los alumnos, es decir, que mejora los indicadores de apropiación y de actitudes de los estudiantes (orientación; implicación/motivación; recuerdo relevante y actitudes)

B.2 Perciben que esta forma de organizar la enseñanza favorece el aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales, es decir, mejorar el aprendizaje de la Física y Química.

B.3 Mejorar sus propias actitudes hacia la enseñanza, haciéndola más atractiva, interesante y eficaz.

Las distintas consecuencias contrastables son indicadores de las expectativas de los profesores sobre las potencialidades de la estructura problematizada en la enseñanza.

5.3. Diseños experimentales

Presentaremos, en primer lugar, el diseño experimental que se refiere a la parte de la hipótesis que afecta a los alumnos, es decir, que **la enseñanza de la Física y la Química con una estructura problematizada como la expuesta en la primera parte produce mejores resultados en los indicadores de apropiación y de actitudes de los alumnos que la enseñanza habitual**. Posteriormente, describiremos el diseño elaborado para profesores.

5.3.1. Diseño experimental para obtener evidencias de las mejoras que produce la enseñanza problematizada en los indicadores de apropiación y en las actitudes de los alumnos

Obtener evidencias a favor de una hipótesis de este tipo, que afirma la influencia positiva de la forma de estructurar la enseñanza, requiere un diseño muy variado y de larga duración, que permita reiterar los resultados, en distintos profesores, cursos, centros y temas. Hemos debido, por tanto, tomar decisiones sobre los factores que vamos a tratar de controlar, la manera de hacerlo, y el tipo de instrumentos a utilizar.

En efecto, podemos pensar lógicamente que además de la forma de estructurar y desarrollar la enseñanza ("problematizada" u "otras, habitual"), hay otros factores que podrían influir en una mejora de los indicadores de apropiación y actitudes de los alumnos, que hemos tratado de controlar del modo siguiente:

- a) **La formación del profesor**, que dividiremos en: a) profesores que desarrollan una enseñanza problematizada (grupo experimental) con dos grados de formación (profesores investigadores y colaboradores) y b) profesores que desarrollan una enseñanza habitual que participan con regularidad en actividades de formación (cursos, jornadas, grupos de trabajo) y se han ofrecido voluntariamente a participar en este trabajo. El controlar de este modo la formación, graduando la de los profesores de los grupos experimentales permitirá comparar tanto los resultados globales según se siga

o no una enseñanza problematizada, como ver en qué medida influye la adquisición de una mayor formación en la enseñanza problematizada. Los “profesores colaboradores” han participado, junto con la autora y los directores de esta investigación, en la elaboración de temas como problemas, en impartir de cursos y utilizan, además, este tipo de materiales en sus clases. Por último, los “profesores de control”, han participado o participan con relativa frecuencia en actividades de formación, asociaciones con fines didácticos, etc., pero no utilizan materiales para el aula con una estructura problematizada o lo hacen puntualmente. Es necesario resaltar, que son pues, profesores formados, con experiencia e interés, que, frecuentemente, pertenecen a grupos de trabajo que han confeccionado sus propios temas, y que –por compartir actividades comunes de interés didáctico con los investigadores- han aceptado que utilizáramos los instrumentos en sus clases. No son, por tanto, profesores elegidos al azar, sino, en nuestra opinión, claramente pertenecientes a un grupo de profesores de Física y Química con interés por enseñar bien y con inquietudes profesionales.

- b) **El contenido específico de los temas:** en principio podría argumentarse que existen temas cuyas características (mayor o menor complejidad; desarrollo matemático; facilidad de conectar con aplicaciones cotidianas, etc.) pueden hacer más difícil generar actitudes positivas que otros temas. Para controlar esta posible influencia, utilizaremos instrumentos en grupos de control y experimentales durante o después del **mismo tema** o grupo de temas (la Mecánica, por ejemplo) y también trataremos de homogeneizar la influencia del contenido tratado, utilizando instrumentos que permitan obtener evidencia sobre lo que buscamos, en **muchos grupos y temas distintos**. Esperamos encontrar que tanto cuando el contenido tratado es el mismo como cuando se homogeneiza mezclando los contenidos abordados y los niveles, los mejores resultados se producen sistemáticamente en los grupos que han estructurado y desarrollado la enseñanza de una forma problematizada.
- c) **Nivel del curso y tipo de centro:** Al realizar comparaciones con temas de igual contenido, estaremos comparando, también, alumnos del mismo nivel académico. No obstante, además, también homogeneizaremos este factor,

escogiendo grupos amplios, con alumnos de distintos niveles tanto en los grupos experimentales como en los de control. Esperamos mostrar que tanto cuando se comparan alumnos del mismo curso como cuando se homogeneiza este factor, los que han recibido una instrucción problematizada obtienen mejores resultados que los de los grupos de control.

Respecto al tipo de centro, hemos tratado de homogeneizar su influencia, intentando que los profesores pertenecieran a centros de características distintas. La autora de esta investigación imparte clase en el único centro de secundaria de una pequeña ciudad, al que asisten, pues, todos los alumnos de la ciudad que están en la etapa secundaria (ESO y Bachillerato). Uno de los colaboradores, enseña en un centro de secundaria en un barrio muy desfavorecido (antiguo centro de FP), otro en un barrio de clase media en una gran ciudad, etc. La existencia de cuatro o más profesores en centros distintos, en el grupo experimental y en el de control, permite aproximarse bastante bien, en nuestra opinión, a una homogeneización de esta variable.

d) Composición de los grupos de alumnos: no ha sido realizada por muestreo aleatorio entre todos los alumnos posibles, claro está. Se tratan de los grupos “naturales” que estaban impartiendo los profesores en sus centros. De nuevo, el hecho de utilizar los instrumentos durante varios años y con varios profesores, hace que nos acerquemos a la elección aleatoria de grupos. Se trata de basar la fiabilidad del diseño en la reiteración de buenos resultados en “grupos naturales”, no en un único buen resultado obtenido en condiciones experimentales de laboratorio.

Esta necesidad de reiteración y homogeneización, ha obligado a que esta investigación se extienda durante varios años (como se ha señalado en la primera parte), suponiendo un verdadero proceso de formación/ innovación/investigación para los responsables de este trabajo. Pasamos a presentar los instrumentos elaborados y utilizados a lo largo de este proceso.

5.3.1.1. Instrumentos para comprobar que los alumnos que reciben instrucción según la estructura problematizada propuesta, muestran mejores resultados en los indicadores de apropiación conceptual en distintos temas y cursos.

Simultáneamente con el desarrollo de este trabajo se han realizado investigaciones dentro de nuestro equipo sobre la enseñanza de temas específicos con una estructura problematizada. En todos ellos se han identificado una serie de "indicadores de comprensión" sobre el tema específico investigado, como paso necesario para analizar el aprendizaje de los alumnos y comparar los grupos experimentales y de control.

En este trabajo, para aportar evidencias a favor de que la estructura problematizada de los temas favorece una mayor apropiación, un mejor aprendizaje conceptual de lo tratado, hemos decidido realizar un breve metaanálisis (Glass, et al., 1981) de las últimas investigaciones sobre los distintos temas (y con distintos profesores y cursos). Este meta-análisis consistirá en:

1. Seleccionar unos pocos aspectos relevantes de los indicadores de comprensión de cada tema investigado. Estos aspectos serán propuestos por los autores/directores de las investigaciones, y han de tener como requisito que su comprensión sea esencial para apropiarse del contenido tratado. Dicho de otra manera: si un alumno ha comprendido "de verdad" el tema tratado debe responder correctamente a cuestiones sobre dichos aspectos.
2. Analizar el cambio producido en esa selección de indicadores de comprensión entre los grupos experimentales y de control. Usaremos varios parámetros estadísticos para analizar los resultados obtenidos. Dos de ellos son suficientemente conocidos: la *t* de *student* y la χ^2 , para establecer si hay diferencias entre los grupos globalmente.

Cuadro 5.2 Instrumento/procedimiento para mostrar la mejora en la apropiación conceptual

Realizar un metaanálisis de la mejora conceptual producida en una selección de indicadores de comprensión de distintos temas en alumnos que han sido instruidos dentro de una estructura problematizada en comparación con alumnos que han recibido otras formas de instrucción

Esperamos encontrar que independientemente del tema tratado, los grupos experimentales obtienen unos resultados claramente mejores que los de control sobre aspectos relevantes que indican una comprensión de lo tratado.

Dentro de nuestro grupo de investigación, se han desarrollado o están desarrollándose tesis doctorales sobre la enseñanza, con una estructura problematizada, de los siguientes temas:

- "La luz y la visión: "¿Cómo vemos?, ¿cómo podríamos ver mejor? (Martínez Torregrosa, Osuna y Verdú, 1999; Osuna, 2001; Osuna, 2004 -investigación en marcha-).
- "Las estaciones del año y el modelo Sol/Tierra": ¿Cómo se mueve el Sol y la Tierra? (Martínez Sebastián, 2003).
- "La comprensión del concepto de diferencial en la enseñanza de la Física" (López-Gay, 2002; Martínez Torregrosa, López-Gay, Gras, y Torregrosa, 2003; López-Gay, Martínez Torregrosa, y Gras, 2002).
- "La enseñanza de la energía, trabajo y calor" (Doménech, 2000; Doménech et al., 2003).

En este trabajo nos centraremos en aquellos indicadores más relevantes que nos permitan afirmar que se ha aprendido con comprensión. Expresamos a continuación los indicadores de comprensión utilizados en estas investigaciones para someter a prueba el aprendizaje logrado por los alumnos. De todos los

indicadores hemos seleccionado 3 de cada tema, para realizar el meta-análisis, tras consultar con los autores y directores de las investigaciones.

En primer lugar, en el **Cuadro 5.3**, se exponen los indicadores de comprensión del modelo de Képler sobre cómo vemos para el tema de "La Luz y la visión"

Cuadro 5.3 Indicadores de comprensión sobre cómo vemos (modelo de Képler sobre la luz y la visión) Osuna (2001 y 2004)

- Concebir la visión como un proceso en el que es necesario que llegue luz al ojo del observador. Lo que supone:

Saber que los objetos que vemos emiten luz y son, por tanto, fuentes secundarias de luz.

Concebir la luz como una entidad física con existencia independiente en el espacio separada de las fuentes primarias y/o secundarias y del ojo del observador.

- Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de la luz según el cual:

Los rayos son conceptos ideales no visibles que sólo representan cada una de las direcciones de propagación de la luz.

Desde cada fuente puntual la luz es emitida en todas las direcciones (esféricamente). Un haz de luz es parte de la esfera de luz emitida.

Las fuentes luminosas extensas (primarias o secundarias) se pueden idealizar como conjuntos de fuentes luminosas puntuales.

La luz "blanca" es de carácter heterogéneo, es decir, está formada por muchos tipos de luz.

- Saber qué es una imagen óptica y cómo se forma. Lo que supone conocer que:

El ojo es un instrumento óptico formador de imágenes en la retina que puede ser modelizado como un sistema formado por un lente convergente y una pantalla. La imagen retiniana aporta información sobre la forma, tamaño, color y lejanía (perspectiva) del objeto que vemos.

En visión directa la imagen se obtiene cuando un haz divergente de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa entra en el ojo y converge en un punto de la retina. En visión indirecta, el haz de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa, después de incidir en el instrumento óptico (espejo, lente, superficie de separación de dos medios,...) es desviado hasta el ojo y la imagen que se obtiene en la retina provoca la sensación de ver una imagen en el punto de donde procedería la luz si no hubiera sido desviada (punto que puede ser localizado geoméricamente por ser el origen directo del haz divergente de luz que entra en el ojo).

El color con que vemos los objetos es una sensación que se elabora a partir de las respuestas de tres tipos de receptores nerviosos de la retina al tipo de luz incidente.

- Conocer los límites de validez de la óptica geométrica para explicar cómo vemos. Es decir:

La imagen "nítida" y sin "bordes coloreados" se puede obtener geoméricamente de los sistemas ópticos cuando limitamos la luz incidente a un estrecho haz paraxial y cuando consideramos lentes delgadas.

De entre todos los indicadores propuestos como fundamentales por los investigadores para una buena comprensión del modelo de luz y visión, hemos seleccionado para realizar nuestro estudio los siguientes:

A.- Concebir la visión como un proceso en el que es necesario que llegue luz al ojo del observador y que por tanto, los objetos que vemos emiten luz y son, pues, fuentes secundarias de luz.

B.- Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de la luz según el cual, los rayos son conceptos ideales no visibles (ni la propia luz) que sólo representan cada una de las direcciones de propagación de la luz, desde cada fuente puntual la luz es emitida en todas las direcciones (esféricamente). Y las fuentes luminosas extensas (primarias o secundarias) se pueden idealizar como conjuntos de fuentes luminosas puntuales.

C.- Saber qué es una imagen óptica y cómo se forma. Lo que supone conocer que: el ojo es un instrumento óptico formador de imágenes en la retina que puede ser modelizado como un sistema formado por un lente y una pantalla. La imagen retiniana aporta información sobre la forma, tamaño, color y lejanía (perspectiva) del objeto que vemos. En visión directa la imagen se obtiene cuando un haz divergente de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa entra en el ojo y converge en un punto de la retina. En visión indirecta, el haz de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa, después de incidir en el instrumento óptico (espejo, lente, superficie de separación de dos medios,...) es desviado hasta el ojo y la imagen que se obtiene en la retina provoca la sensación de ver una imagen en el punto de donde procedería la luz si no hubiera sido desviada (punto que puede ser localizado geoméricamente por ser el origen directo del haz divergente de luz que entra en el ojo).

A continuación presentamos los indicadores de comprensión de "las estaciones del año y el modelo Sol/Tierra"

**Cuadro 5. 4 Indicadores de comprensión conceptual del modelo Sol/Tierra
(Las estaciones del año y el modelo Sol/Tierra) (Martínez Sebastián, 2003)**

- Ser conscientes del interés práctico de conocer con precisión el movimiento de los astros y de la influencia que ha tenido la evolución del pensamiento científico sobre el modelo Sol/ Tierra en el pensamiento y cultura occidentales
- Conocer con precisión (suficiente para realizar predicciones aproximadas) la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento del Sol observado desde un lugar concreto. Lo que supone:
 - Saber organizar el horizonte local para seguir el movimiento del Sol y representar gráficamente la posición del Sol en el horizonte.
 - Identificar los días especiales o marcas naturales que permiten dividir el tiempo por sus características observacionales (duración del día, acimut del orto/ ocaso y valor de la culminación).
 - Identificar las simetrías (aproximadas) en un día (en duración respecto al momento de la culminación y en acimut del orto/ ocaso respecto al Sur) y simetrías y ciclos a lo largo del año: de la duración en torno a 12 horas; del orto y ocaso respecto al Este/ Oeste y de la culminación respecto a su valor en los días de equinoccio.
 - Conocer las relaciones entre los factores astronómicos y la climatología. Por ejemplo, conocer la relación entre la altura del Sol y la temperatura del lugar.
- Carácter esférico de la Tierra. Seguramente manifestar que la Tierra es una esfera puede considerarse como el paradigma de lo que representa hoy en día el conocimiento probado, sin embargo el carácter hipotético de dicha proposición se pone de relieve si proponemos a los alumnos una reflexión sobre los argumentos que la avalan. Por tanto creemos que demostrar una buena comprensión del modelo de la Tierra esférica equivale a ser capaz de:
 - Reconocer que sobre la superficie de la Tierra la dirección arriba-abajo coincide con la dirección del radio de la Tierra .
 - Representar el plano del horizonte con los puntos cardinales en cualquier lugar de la Tierra.
 - Justificar que la diferencia de la altura observada del Sol en dos lugares de diferente latitud es un efecto de la curvatura de la Tierra.
- Movimiento de rotación de la Tierra. De nuevo su carácter hipotético se pone en evidencia si tenemos en cuenta la dificultad, puesta de manifiesto en el desarrollo histórico, de su comprobación experimental. Se demostrará la comprensión de dicho modelo mediante la capacidad de conectar dicha hipótesis con algunas observaciones como por ejemplo,
 - Describir el movimiento observado del Sol con respecto al horizonte local como un efecto del movimiento de rotación de la Tierra.
 - Justificar la posición fija de la estrella polar.
- Movimiento de translación de la Tierra. La articulación de esta hipótesis implica imaginar que el movimiento de la Tierra alrededor del Sol se realiza manteniendo el eje de giro siempre paralelo a sí mismo (apuntando siempre hacia la Polar). La comprensión de dicho modelo se manifestará mediante la capacidad de justificar de forma operativa las observaciones siguientes:
 - Los cambios en la duración del día, en la posición de salida/puesta y en la culminación del Sol en cada una de las estaciones.
 - Los cambios en las estrellas visibles en cada una de las estaciones.
 - Los cambios en las observaciones anteriores al cambiar la latitud desde la que se realizan las observaciones.

La comprensión del modelo Sol/ Tierra y los ciclos en las estaciones supone que los alumnos deberían alcanzar los anteriores indicadores de comprensión. Para realizar el metaanálisis hemos seleccionado, para nuestro estudio, los siguientes:

A.- Conocer con precisión la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento del Sol que podemos observar desde un lugar concreto. Ello supone saber organizar el horizonte local para seguir el movimiento del Sol y representar gráficamente la posición del Sol en el horizonte, identificar los días especiales o marcas naturales que permiten dividir el tiempo por sus características observacionales, identificar las simetrías en un día (y simetrías y ciclos a lo largo del año: de la duración en torno a 12 horas; del orto y ocaso respecto al Este/Oeste y de la culminación respecto a su valor en los días de equinoccio).

B.- Conocer el modelo esférico de la Tierra, supone reconocer que sobre la superficie de la Tierra la dirección arriba-abajo coincide con la dirección del radio de la Tierra, representar el plano del horizonte con los puntos cardinales en cualquier lugar de la Tierra y justificar que la diferencia de la altura observada del Sol en dos lugares de diferente latitud es un efecto de la curvatura de la Tierra.

C.- La comprensión del modelo Tierra/Sol supone conocer el movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol y de rotación, lo que supone justificar de forma operativa las observaciones siguientes: los cambios en la duración del día, en la posición de salida/puesta y en la altura del Sol en cada una de las estaciones y describir el movimiento observado del Sol en el horizonte local como un efecto del movimiento de rotación de la Tierra.

Otro de los trabajos seleccionados es el del concepto de la diferencial en la clase de Física. A continuación presentamos los indicadores de comprensión que los investigadores consideran imprescindibles para una buena comprensión del mismo.

Cuadro 5.5 Indicadores de comprensión sobre el concepto de diferencial en la enseñanza de la Física (y por tanto del cálculo diferencial en la Física hasta primer curso universitario) (López-Gay 2002; López-Gay, Martínez Torregrosa y Gras, 2002)

- Saber cuándo y por qué se hace necesario su uso, es decir, cuál es el problema que hace insuficiente el cálculo ordinario; saber que es necesario recurrir a la diferencial cuando queremos hallar el Δy producido en un Δx y la relación entre ellos no es lineal
- Conocer la estrategia que utiliza el cálculo para resolver ese problema y comprender el sentido de los distintos pasos a seguir, en concreto:
 - Saber explicar con precisión y sentido físico el significado de las expresiones diferenciales, reconocer sin ambigüedad que la diferencial puede tomar valores numéricos e interpretar el significado de los mismos.
 - Conocer y justificar la relación que existe entre la diferencial (dy) y la derivada y' : $y' = dy/dx$, y aceptar sin ambigüedad los razonamientos en que se utiliza esa relación.
 - Conocer el significado de la integral y saber justificar el denominado teorema fundamental, es decir, por qué la integral definida requiere el cálculo de *anti derivadas* o funciones primitivas.
 - Utilizar con sentido esa estrategia en situaciones y problemas en los que se domine el contenido físico de los mismos.
- Ser consciente de la naturaleza hipotética, tentativa, en casi todas las situaciones físicas, de la expresión diferencial de partida, y saber que la validez de esa hipótesis no puede ser contrastada directamente sino a través del resultado al que conduce.
- Valorar positivamente el papel de la diferencial en el aprendizaje de la física. Este componente axiológico debería ser una consecuencia natural cuando se comprende el papel crucial que juega la diferencial en el tratamiento de situaciones físicas de interés.

Para realizar nuestro estudio de metaanálisis hemos seleccionado, como en los casos anteriores, tres de ellos que nos han parecido más representativos.

A.- Saber cuándo y por qué se hace necesario su uso, es decir, cuál es el problema que hace insuficiente el cálculo ordinario; saber que es necesario recurrir a la diferencial cuando queremos hallar el Δy producido en un Δx y la relación entre ellos no es lineal.

B.- Conocer la estrategia que utiliza el cálculo para resolver ese problema y comprender el sentido de los distintos pasos a seguir, en concreto: Saber explicar con precisión y sentido físico el significado de las expresiones diferenciales, reconocer sin ambigüedad que la diferencial puede tomar valores numéricos e interpretar el significado de los mismos, conocer y justificar la relación que existe entre la diferencial (dy) y la derivada y' : $y'=dy/dx$, y aceptar sin ambigüedad los razonamientos en que se utiliza esa relación.

C.- Conocer el significado de la integral y saber justificar el denominado teorema fundamental, es decir, por qué la integral definida requiere el cálculo de *anti derivadas* o funciones primitivas.

El último tema elegido para realizar el metaanálisis, sobre los indicadores de comprensión de los alumnos que han seguido una enseñanza problematizada comparados con alumnos de control, es el tema de energía, trabajo, y calor. Pasaremos a presentar los indicadores de comprensión conceptual para estos conceptos, centrándonos en los indicadores para un curso de 1º de Bachillerato.

Cuadro 5.6 Indicadores de comprensión conceptual de energía, trabajo y calor (Doménech 2000, Doménech et al., 2003):

- Primera aproximación al concepto de energía supone comprender que:
 - Las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a interacciones con otros sistemas o entre sus partes.
 - La idea de energía puede asociarse cualitativamente a la configuración de los sistemas y a las interacciones que estas configuraciones permiten.
 - La energía no es un fluido que pasa de un cuerpo a otro.
 - Asociar en primera aproximación la energía a la “capacidad de producir transformaciones”.
 - Asociar las distintas formas de energía a diferentes configuraciones de los sistemas y a distintas formas de interaccionar de la materia.
 - La energía es una propiedad de los sistemas y no tiene sentido hablar de la energía de un objeto aislado.

- Conocer el significado físico de los conceptos de trabajo y calor y su relación con la energía, supone saber que:
 - Cualitativamente podemos concebir el trabajo como “el acto de transformar la materia aplicando fuerzas”.
 - El calor aparece, en el marco de la teoría cinético-molecular, como una magnitud que engloba el conjunto del gran número de (micro)trabajos realizados a nivel submicroscópico, como consecuencia de las (micro)fuerzas exteriores que actúan sobre las partículas del sistema..
 - Las variaciones de energía de un sistema, ΔE , pueden ser debidas a la realización de trabajo W y/o calor Q de acuerdo con la expresión $W+Q = \Delta E$.

- Conservación, transformación y degradación de la energía
 - La energía total de un sistema aislado (incluida la energía térmica) permanece constante.
 - Siempre que dicho sistema experimente cambios, necesariamente se han de producir transferencias y/o transformaciones de energía en su interior, aunque la suma de estas variaciones sea cero.
 - Como resultado de las interacciones y consiguientes transformaciones de los sistemas, la energía se degrada o distribuye homogéneamente.
 - La distribución de la energía (el crecimiento de la entropía) disminuye la posibilidad de transformaciones macroscópicas.
 - Cuando hablamos de “consumo de energía”, “crisis energética”, etc., no queremos decir que la energía desaparece sino que se homogeneiza..
 - Para que se pueda experimentar cambios en un sistema aislado han de producirse necesariamente intercambios y transformaciones entre partes del sistema y la energía no puede estar distribuida, inicialmente, de manera uniforme.

- La plena apropiación del campo de conocimientos de la energía exige la utilización reiterada de los conocimientos construidos en una variedad de situaciones, para hacer posible su profundización y afianzamiento.

De los cuales hemos seleccionado para realizar este estudio los siguientes indicadores:

A.- Disponer de un concepto cualitativo adecuado de energía, lo que supone conocer que las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a las interacciones con otros sistemas o a las interacciones entre sus partes, es decir, a la capacidad de la materia para interactuar de diversas formas. La idea de energía puede asociarse cualitativamente a la configuración de los sistemas y a las interacciones que estas permiten. Las transformaciones pueden asociarse a variaciones de energía de los sistemas, y asociar las distintas formas de energía a diferentes configuraciones de los sistemas y a distintas formas de interactuar de la materia. Por tanto, la energía es una propiedad de los sistemas y no tiene sentido hablar de la energía de un objeto aislado.

B Significado físico de los conceptos de trabajo y calor y su relación con la energía. Las variaciones de energía de un sistema pueden ser debidas a la realización de trabajo o calor. Cualitativamente podemos concebir el trabajo como "el acto de transformar la materia aplicando fuerzas" y el calor aparece, en el marco de la teoría cinético-molecular, como una magnitud que engloba el conjunto del gran número de (micro)trabajos realizados a nivel sub-microscópico, como consecuencia de las (micro)fuerzas exteriores que actúan sobre las partículas del sistema. Las variaciones de energía de un sistema, ΔE , pueden ser debidas a realización de trabajo W y/o calor Q de acuerdo con la expresión $W+Q = \Delta E$.

C.-Conservación, transformación y degradación de la energía, es decir, la energía de un sistema aislado (incluida la energía térmica) permanece constante, aunque puede ocurrir cambios de unas formas de energía en otras y/o transferencia de energía de unos sistemas a otros, lo que supone que, el establecimiento del principio de conservación exige tomar en consideración las interacciones a nivel sub-microscópico y las formas de energía "interna" asociadas. Siempre que dicho sistema experimente cambios, necesariamente se han de producir transferencias y/o transformaciones de energía en su interior, aunque la suma de estas variaciones sea cero. Como resultado de las interacciones y consiguientes transformaciones de los sistemas, la energía se degrada o distribuye homogéneamente y la distribución de la energía (el crecimiento de la entropía) disminuye la posibilidad de transformaciones macroscópicas De modo que, cuando hablamos de "consumo de energía", "crisis energética", etc., no queremos decir que la energía desaparece sino que se homogeneiza. Para que se pueda experimentar cambios en un sistema aislado han de producirse necesariamente intercambios y transformaciones entre partes del sistema y la energía no puede estar distribuida, inicialmente, de manera uniforme. La plena apropiación del campo de conocimientos de la energía exige la utilización reiterada de los conocimientos construidos en una variedad de situaciones, para hacer posible su profundización y afianzamiento.

El siguiente cuadro, **Cuadro 5.7** recoge de una manera global los indicadores seleccionados en los distintos temas objeto del meta-análisis:

Cuadro 5.7. Selección de los indicadores de comprensión conceptual que serán objeto de meta-análisis.

Indicadores	Luz y visión	Estaciones del año. Sistema Sol/Tierra	Comprensión y utilización de la diferencial en Física	Energía, trabajo y calor
		Disponer de un modelo cualitativo de cómo vemos los objetos supone:	Disponer de una comprensión del modelo Sol/Tierra supone:	Disponer de una comprensión conceptual de la diferencial supone:
A	Considerar que los objetos que vemos son emisores de luz	Conocer la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento del Sol	Saber cuándo y porqué es necesario usar la diferencial	Las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a las interacciones con otros sistemas o entre sus partes
B	Considerar que los objetos extensos son un conjunto de fuentes puntuales	Dibujar correctamente los elementos necesarios del modelo Sol/Tierra	Comprender su significado físico y matemático	Considerar que calor y trabajo son formas de cambiar la energía de un sistema
C	Considerar que el ojo es un instrumento óptico formador de imágenes	Utilizar correctamente el modelo Sol/Tierra para explicar las diferencias en el movimiento local del Sol entre las estaciones.	Comprender y justificar el teorema fundamental (por qué la integral definida requiere el cálculo de anti-derivadas o primitivas)	Utilizar, adecuadamente por su potencia y sencillez, el enfoque energético con preferencia al dinámico/cinemático en los problemas mecánicos

Probar que los alumnos que han recibido instrucción siguiendo una estructura problematizada se apropiaran de lo tratado en los temas y curso, no se reduce únicamente a probar una mejor comprensión conceptual. En la página 197, nos referíamos a qué consideraremos como indicadores de apropiación de lo tratado y de actitudes positivas hacia la enseñanza. Pasaremos a continuación, a referirnos a los diseños experimentales para probarlo.

5.3.1.2. Instrumentos para comprobar que los alumnos que reciben instrucción según la estructura problematizada propuesta, muestran mejores resultados en los indicadores de apropiación y de actitudes positivas que los grupos de control

Recordemos, de modo más breve que lo hecho en el apartado 1, la forma en que hemos operativizado los indicadores de apropiación y actitudes positivas:

1. **Orientación:** Se muestra, al menos, uno de los siguientes aspectos

- Se conoce qué interés tiene lo que se está haciendo (de una manera cualitativa y global).
- Se es consciente de que lo que se está haciendo se enmarca dentro de un objetivo o finalidad más general, es decir, de sentirse partícipe de un plan y saber dónde se encuentra.

2. **Implicación/ motivación:**

- Se muestra una actitud positiva hacia lo que se está haciendo (atractivo o interesante, p. ej.).
- Se tiene sensación personal de "avance", de aprendizaje, en lo que se está haciendo o se ha hecho.

3. **Recuerdo relevante**, con sentido físico, de lo tratado:

- Se muestra un conocimiento de ideas importantes, globalizadoras, que pueden ser expresadas cualitativa y coherentemente, sobre lo que se está haciendo o se hizo cierto tiempo atrás.

4. **Actitudes positivas** hacia, y generadas por, la forma de enseñanza recibida, que se pondrá de manifiesto si:

- Valoran positivamente la enseñanza recibida.
- Perciben dicha enseñanza como facilitadora del aprendizaje, generadora de actitudes positivas hacia el aprendizaje de la Física y Química y relacionan dichas virtudes con la forma de estructurarla.

(Los indicadores de implicación/ motivación lo son también de actitudes positivas).

Con la finalidad de obtener evidencias sobre el grado en que están presentes estos indicadores en los alumnos, hemos elaborado instrumentos distintos que permitan obtener de forma variada evidencias sobre las consecuencias contrastables. Podemos clasificar los instrumentos, según la distinta forma en que permiten obtener evidencias, en dos tipos:

- A)** los que demandan la realización por los alumnos de un “producto” sobre un tema específico –normalmente respuestas a preguntas o cuestiones - que requiere ser analizado e interpretado, con criterios explícitos, para inferir evidencias sobre los indicadores de apropiación; y
- B)** los que se basan en la expresión de la *percepción personal* de los alumnos sobre dichos indicadores.

Es decir, para valorar la orientación de los alumnos, por ejemplo, lo haremos mediante el análisis de sus respuestas a preguntas sobre temas concretos, valorando si son indicadoras de estar orientado, y, también, indagando sobre su percepción personal de “estar orientado” (acompañada o no de expresión de las causas que han contribuido a ello). Dentro de estas categorías, existe, como veremos, una gran variedad en la “táctica” (estrategia) del instrumento.

Presentaremos los instrumentos expresando lo que pretendemos medir, la guía para la interpretación de los posibles resultados y nuestras expectativas sobre lo que vamos a encontrar.

5.3.1.2.A). INSTRUMENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS A CUESTIONES SOBRE CONTENIDOS ESPECÍFICOS DE LA MATERIA ENSEÑADA.

Para detectar orientación, implicación/motivación y recuerdo relevante, a partir de las respuestas de los alumnos a preguntas abiertas, hemos elaborado cuestionarios que se utilizarán para cualquier tema y nivel (C1 y C2) y otros para pasar al final de una gran síntesis, como la Mecánica o la Teoría atómico-molecular de la sustancias (C3, C4 y C5).

Hemos elegido la Mecánica y la Teoría atómico/molecular porque son las síntesis que reciben mayor atención en la enseñanza de la Física y Química tanto en la etapa obligatoria (hasta 4º ESO) como en el Bachillerato. El análisis de las repuestas de los alumnos algún tiempo después de acabar la enseñanza de dichas síntesis puede revelar información sobre la adquisición de ideas globalizadoras (que trascienden lo que es posible en un tema aislado) y la conciencia de las relaciones entre los distintos temas tratados dentro de la síntesis.

A.1) Instrumentos para detectar indicadores de apropiación y actitudes de los alumnos a partir de sus respuestas a preguntas sobre los contenidos tratados.

Hemos diseñado cuestionarios para ser utilizados:

- en la mitad del desarrollo de un tema (C1)
- al final del desarrollo de un tema (C2, C3)
- al final de una gran síntesis (C3, C4 y C5)

Cuestionario 1 (C1). Para detectar indicadores de apropiación en la mitad del desarrollo de cualquier tema y nivel

Este cuestionario se pasará sin previo aviso a los alumnos (experimentales y de control) a mitad del desarrollo de un tema, durante la clase habitual de la asignatura. De este modo, esperamos detectar el grado de apropiación (orientación (O), implicación/motivación (I/M), recuerdo relevante (RR)) "en la acción", dificultando, además, respuestas aprendidas repetitivamente para una prueba al final del tema.

Cuestionario C1: en la mitad de cualquier tema o nivel

Estamos realizando un trabajo para mejorar la enseñanza de la Física y Química y te pedimos que, de modo anónimo y sin límite de tiempo, contestes con la mayor precisión posible las siguientes preguntas. Gracias por tu colaboración.

- a) Indica el nombre del tema que estas "dando" actualmente en Física y Química.
- b) Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema (O, RR).
- c) Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase (O, I/M).
- d) ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (O).

No hay límite de tiempo (Si necesitas más hojas, pídelas)

- Con el apartado **1a)** no buscamos simplemente saber si conocen el nombre del tema que se está tratando (algo que esperamos que ocurra en la práctica totalidad de los casos!) sino favorecer que, una vez dicho, los alumnos se refieran en las restantes cuestiones a otros aspectos. Se trata, pues, de una pregunta para favorecer que todos los alumnos expresen ideas "más sustanciosas" en el resto de cuestiones.
- Con el apartado **1b)** queremos ver en qué medida escriben *ideas* con sentido, expresadas cualitativamente o, por el contrario, sólo aparecen definiciones, listas ("los átomos, las valencias,.."); fórmulas que no van acompañadas de interpretación alguna ("que $F = m \cdot a$ "), esquematismos incomprensibles,.. . Por supuesto, estas ideas pueden ser sobre aspectos metodológicos (del tipo: "he aprendido a formular hipótesis", "cómo hacer un diseño experimental", "cómo medir") o de otro tipo ("cómo montar bombillas en serie y en paralelo"), siempre y cuando estén expresadas con sentido.

- Con el apartado **1c)**, buscamos en qué medida conocen qué interés puede tener el tema o por qué y/o para qué se está estudiando, más allá de parafrasear el título, citar algún concepto de manera aislada o alguna fórmula. *Además* de esto, puesto que buscamos indicadores de apropiación, también analizaremos si aparecen expresiones que muestren actitudes positivas (implicación/ motivación) hacia lo que se está haciendo.
- La cuestión **1d)** (¿Qué se trata de averiguar en este tema?), anima a escribir frases, en forma enunciativa o interrogativa, que expresen, de un modo comprensible, cuestiones relevantes a las que se podría dar respuesta en ese tema. Conscientemente hemos enunciado **1c)** y **1d)**, de manera que se solapan parcialmente: así, por ejemplo, responder en **1c)** "poder comprender cómo vemos" es equivalente a responder en **1d)** "¿Cómo vemos? ¿cómo podemos mejorar la visión?". De este modo se contempla la posible influencia que puede tener el lenguaje utilizado por el profesor en su clase. Por supuesto, valoraremos si una idea es indicadora de apropiación independientemente de que se encuentre en uno u otro apartado.
- El análisis de cada apartado lo completaremos con una valoración global de todo el texto escrito según contenga un mayor o menor número de ideas cualitativas importantes sobre lo que se pregunta, que estén expresadas de forma coherente, comprensible.

Aunque en el **Cuadro 5.1** (página 197), hemos definido operativamente los indicadores de apropiación, el análisis de las respuestas abiertas siempre presenta dificultades a la hora de decidir cómo clasificar algunas ideas. Para proceder a este análisis hemos tenido en cuenta el artículo de Hogan y Maglienti (2001) donde describe con detalle el protocolo seguido para resolver este problema. Partiendo de la definición operativa de los indicadores de apropiación del **Cuadro 5.1** (página 197) la investigadora y dos profesores procedieron por separado a analizar 20 cuestionarios de alumnos experimentales y de control (mezclados y de manera que los dos profesores no pudieran identificar a qué grupo pertenecían). Cada investigador identificó y categorizó las ideas contenidas en cada una de las respuestas, señalando el criterio utilizado y, en cada caso, sus dudas. Se realizó

una puesta en común, en la que se llegó a un acuerdo sobre la categorización de la práctica totalidad de las ideas, ampliando, en caso necesario, los criterios. Aunque fue posible clasificar la práctica totalidad de las ideas, fue necesario, en muy pocos casos, tomar una decisión basada en la lectura global de todo el texto y abrir un apartado de "otras categorías". Tras la puesta en común, se repitió el mismo procedimiento con otros 20 cuestionarios utilizando la nueva red de análisis. De este modo, se alcanzó un acuerdo entre los tres investigadores de más del 95 % de las ideas categorizadas. A partir de ahí, la investigadora siguió valorando el resto de las respuestas.

A continuación presentamos la red de análisis para la valoración de las respuestas a C1, tal y como quedó tras la puesta en común entre los 3 expertos de los 20 cuestionarios mezclados. En él se han puesto los indicadores de apropiación en las categorías en negrita (**cuadro 5.8**).

En cada ítem se valora si las respuestas son indicadoras de apropiación y la calidad global del texto, el número de ideas con sentido, número de ideas que son indicadoras de un aprendizaje significativo o repetitivo. A continuación de los criterios de valoración se presenta el estadillo utilizado para analizar las respuestas al cuestionario C1 (**cuadro 5.9**).

Si nuestra hipótesis es cierta, esperamos encontrar, además de una clara diferencia entre porcentajes de respuestas positivas entre los alumnos experimentales y de control, que se produzca una gradación en los resultados, que -lógicamente- deben ser mejores en los grupos del profesor investigador, que en los colaboradores y formados (en este orden). Debemos recordar que los profesores colaboradores y formados no están implicados personalmente en el desarrollo de esta investigación, ni conocerán las cuestiones hasta el momento de pasarlas.

Cuadro 5.8 Criterios para la valoración de las respuestas al cuestionario C1

<p>1b. Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema</p> <p><i>¿El texto escrito indica orientación o recuerdo relevante? ¿expresa una probable comprensión de ideas relevantes?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que está haciendo o ha hecho de manera cualitativa, global - Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan - Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales - Se limita a definiciones, fórmulas, palabras sueltas, frases fragmentarias o vagas, conceptos sueltos ... - No sé. Prácticamente en blanco. En blanco
<p>1c. Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase</p> <p><i>¿Conoce el interés o la finalidad del tema? ¿expresa implicación/ motivación?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Expresa actitud positiva hacia lo que está haciendo o ha hecho (atractivo, interesante, ...) - Expresan comprensible, cualitativamente, qué interés puede tener, por qué o para qué se está estudiando dicho tema, incluyendo posibles explicaciones, ejemplos... - Expresa sensación de avance, de aprendizaje - Actitud negativa expresamente - Incluye palabras, ideas, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadores - muy probablemente- de un aprendizaje repetitivo - No sé. Prácticamente en blanco. En blanco
<p>1d. ¿Qué se trata de averiguar en este tema?</p> <p><i>¿Muestra orientación? ¿Expresa metas globales que den sentido a su actividad en el aula, más allá de los "detalles"?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativa y coherentemente sobre lo que se está haciendo o se hizo - Nombra conceptos, formulas, sin frases que expresen ideas cualitativas Se refiere a definiciones operativas, a fórmulas, escribe frases inconexas, preguntas puntuales o retóricas ... - En blanco o prácticamente en blanco
<p>Valoración global de la calidad del texto de las cuestiones 1b, 1c y 1d</p> <p><i>¿El texto completo evidencia apropiación: orientación, implicación/motivación, recuerdo relevante?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nº ideas indicadoras de apropiación - Nº ideas que podrían indicar aprendizaje repetitivo (frases inconexas, sólo se refieren a definiciones, fórmulas,..) - Prácticamente en blanco. Palabras sueltas. - Otras categorías - Nº ideas, frases total

Cuadro 5.9 Estadillo para la valoración de indicadores de apropiación de C1

Grupo	N =	Profesor:		
Orientación (c y d)				
-	Expresa el interés de lo que está haciendo o ha hecho de manera cualitativa, global			
-	Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan			
-	Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales			
-	Conceptos sueltos			
-	Nº ideas indicadoras de apropiación			
-	Nº ideas que podrían indicar aprendizaje repetitivo			
-	Nº ideas totales			
Implicación/motivación (no preguntado directamente)				
-	Expresa actitud positiva hacia lo que está haciendo o ha hecho (atractivo, interesante, ...)			
-	Sensación de avance, de aprendizaje			
-	Negativa expresamente			
-	Nº ideas indicadoras de apropiación			
-	Nº ideas que podrían indicar aprendizaje repetitivo			
-	Nº ideas totales			
Recuerdo relevante (b)				
-	Ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativamente y coherentemente sobre lo que se está haciendo o se hizo			
-	Nombra conceptos, formulas, sin frases que expresen ideas cualitativas			
-	Nº ideas indicadoras de apropiación			
-	Nº ideas que podrían indicar aprendizaje repetitivo			
-	Nº ideas totales			
Otras categorías				

A.2) Instrumentos para detectar indicadores de apropiación al final de cualquier tema y nivel

Cuestionarios 2, 3, 4 y 5 (C2, C3, C4, C5), abiertos, se pasarán al final de cualquier tema y nivel (C2) y al final de una gran síntesis (C3, C4, C5, de la Mecánica y C4, de la síntesis de la estructura de las sustancias), a grupos experimentales y de control del mismo curso y en distintos cursos

Para detectar indicadores de apropiación *al final* de cualquier tema y nivel, hemos elaborado el **Cuestionario 2 (C2)**, se pasa a grupos experimentales y de control.

Cuestionario C2 para detectar indicadores de apropiación al final de cualquier tema y nivel

Estamos realizando un trabajo para mejorar la enseñanza de la Física y Química y te pedimos que, de modo anónimo, contestes con la mayor precisión posible a la siguiente pregunta

Imagina que tienes que explicarle a un amigo que no ha estudiado Física y Química de qué ha tratado el último tema desarrollado en la clase y convencerle de la importancia e interés que tiene lo que se ha estudiado. Escribe qué le dirías de la manera más ordenada posible.

Gracias por tu colaboración

Para detectar indicadores de apropiación *al final* de de la Mecánica, hemos elaborado el **Cuestionario 3 (C3)**, se pasa a grupos experimentales y de control.

Cuestionario C3 al final de la Mecánica

Una vez acabada la Mecánica te pedimos que realices un resumen de las ideas más importantes que has aprendido en dicho estudio. No te pedimos fórmulas, ni ecuaciones, ni definiciones, sino que escribas frases sobre aspectos de interés que se han tratado y que has aprendido a lo largo del curso

Con estas preguntas abiertas, queremos ver en qué medida aparecen ideas relevantes, expresadas cualitativamente, con sentido, sobre lo tratado (más allá de descripciones, nombres de conceptos o fórmulas,..), ideas que indiquen orientación (que enmarquen lo hecho en una meta más general) y también si expresan actitudes positivas hacia o generadas por lo hecho.

Para valorar, además, el grado de apropiación que expresa globalmente la respuesta a esta cuestión, analizaremos todas las frases, considerándolas en el contexto de lo escrito, que expresan los alumnos, según se relacionen con los indicadores de apropiación, como se expresa en el **Cuadro 5.10** (común a **C2** y **C3**). Para valorar las preguntas abiertas **C2** y **C3** procederemos como en el cuestionario anterior y se hará con el siguiente estadillo

Cuadro 5.10 Criterios para la valoración de indicadores de apropiación en C2 y C3

Se considerará que muestra apropiación cuando:
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que está haciendo o ha hecho de manera cualitativa, global (Orientación) - Ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativamente y coherentemente sobre lo que se está haciendo o se hizo (recuerdo relevante) - Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan (Orientación) - Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales (Orientación) - Expresa actitud positiva hacia lo que está haciendo o ha hecho (atractivo, interesante, ...) (Implicación/motivación) - Sensación de avance, de aprendizaje (Implicación/motivación)
Se considerará que no muestra apropiación cuando
<ul style="list-style-type: none"> - Conceptos sueltos. Incluye palabras, frases, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadoras –muy probablemente- de un aprendizaje meramente memorístico. - No sé. Prácticamente en blanco. En blanco
Valoración global de la calidad del texto
<ul style="list-style-type: none"> - Nº ideas indicadoras de apropiación - Nº ideas que podría indicar aprendizaje repetitivo (frases inconexas, sólo se refiere a definiciones, fórmulas,..) <ul style="list-style-type: none"> - Otras categorías
Nº ideas totales

El siguiente cuestionario, C4, se pasará al final de una gran síntesis en dos versiones: una para la "Mecánica newtoniana" y otra para "la estructura de las sustancias".

Cuestionario C4 (al final de la Mecánica newtoniana)

Estamos realizando un trabajo para mejorar la enseñanza de la Física y Química y te pedimos que, de modo anónimo y sin límite de tiempo, contestes con la mayor precisión posible las siguientes preguntas. Gracias por tu colaboración.

Como sabes, en este curso de Física hemos estudiado la Mecánica.

- a) Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él

- b) La Mecánica se ha dividido en varios temas, di qué trataba cada uno de ellos y cómo estaban relacionados

- c) A qué preguntas sobre el movimiento de los cuerpos podrías responder ahora que no sabías al principio de la Mecánica. ¿Qué avances consideras que has realizado, es decir, qué cosas importantes has aprendido en esta asignatura durante el curso?

- d) Centrándonos ahora en el tema, por ejemplo, de Dinámica, explica brevemente qué aspectos se trataban en ese tema, qué se buscaba conseguir o qué interés tenía tratar esos aspectos (¿por qué o para qué se han tratado?) y lo que has aprendido en la cuestión o asunto que se estudiaba.

El mismo cuestionario se pasará al final de 3º de ESO en grupos donde el curso se ha centrado, básicamente en el desarrollo de la estructura de las sustancias o teoría atómico-molecular, por ello se ha cambiado la redacción de las preguntas como sigue:

Cuestionario C4 (bis) (al final de la estructura atómico-molecular de las sustancias)

Estamos realizando un trabajo para mejorar la enseñanza de la Física y Química y te pedimos que, de modo anónimo y sin límite de tiempo, contestes con la mayor precisión posible las siguientes preguntas. Gracias por tu colaboración.

Como sabes, en este curso hemos estudiado la estructura de la materia.

- a) Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él.

- b) Este curso se ha dividido en varios temas, di qué trataba cada uno de ellos y cómo estaban relacionados.

- c) A qué preguntas sobre la estructura de las sustancias podrías responder ahora que no sabías al principio. ¿Qué avances consideras que has realizado, es decir, qué cosas importantes has aprendido en esta asignatura durante el curso?

- d) Centrándonos ahora en el tema, por ejemplo, de estructura corpuscular, explica brevemente qué aspectos se trataban en ese tema, qué se buscaba conseguir o qué interés tenía tratar esos aspectos (¿por qué o para qué se han tratado?) y lo que has aprendido en la cuestión o asunto que se estudiaba.

El estadillo para analizar las respuestas de las dos versiones del cuestionario C4 será el reflejado en el **cuadro 5.11**. En él una frase asignada a una categoría en **negrita**, expresa apropiación.

Cuadro 5.11 Estadillo para el análisis del cuestionario C4 de preguntas abiertas al final de una gran síntesis

4 a. Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él (Orientación)	Si/no
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que está haciendo o ha hecho de manera cualitativa, global - Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan - Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales - Conceptos sueltos. Incluye palabras, frases, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadoras –muy probablemente- de que no sabe qué interés puede tener lo que se está tratando, más allá del aula 	
4 b. Expresa de qué trataba cada tema y cómo estaban relacionados (Orientación, recuerdo relevante)	Si/no
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que está haciendo o ha hecho de manera cualitativa, global - Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan - Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él - Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales - Expresa de qué trataba cada tema y cómo estaban relacionados - Conceptos sueltos: incluye palabras, frases, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadoras –muy probablemente- de que no sabe qué interés puede tener lo que se está tratando, más allá del aula 	
4 c ¿Qué avances ha realizado, es decir, qué cosas importantes ha aprendido durante el curso? (Implicación/motivación)	Si/no
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa actitud positiva hacia lo que ha hecho (atractivo, interesante, ...) - Frases que muestran la sensación de avance, de aprendizaje global - Frases que muestran un aprendizaje repetitivo, se refiere a definiciones operativas, a fórmulas, ... - Actitud negativa expresa 	
4 d. ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (Recuerdo relevante)	Si/no
<ul style="list-style-type: none"> - Ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativamente y coherentemente sobre lo que se hizo - Incluye una o más preguntas, comprensibles, cualitativas, que son indicadoras – muy probablemente- de que sabe qué se trataba de conseguir en el tema - Nombra conceptos, fórmulas, sin frases que expresan ideas cualitativas, definiciones operativas, ... 	
Valoración global de la calidad del texto	Nº
<ul style="list-style-type: none"> - Nº ideas indicadoras de apropiación - Nº ideas que podría indicar aprendizaje repetitivo, sólo se refieren a definiciones, fórmulas,... - Otras categorías (Prácticamente en blanco, palabras sueltas que no vienen al caso). 	
Nº Ideas totales	

Un indicador de que se ha entendido la esencia de la síntesis newtoniana es explicar de la misma manera los movimientos de los cuerpos "celestes" como el de un avión que cae, un paracaidista o el de una molécula de la atmósfera. Se trata de ver en qué medida los alumnos de grupos experimentales muestran una comprensión conceptual **-como mínimo más de un mes después de haber terminado la Mecánica-** de la universalidad de la Mecánica newtoniana, de su éxito al superar la barrera cielo/tierra. Para ello se pasará el **Cuestionario C5 (C5)**

Cuestionario C5: Instrumento para detectar indicadores de comprensión y recuerdo relevante (meses después de acabar la Mecánica)

- a) Indica semejanzas y diferencias entre el movimiento de un astronauta fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra, y el de una persona que se ha lanzado desde un avión (Sé tan preciso como puedas, escribe, utiliza dibujos, ...)
- b) Según la Ley de la gravitación Universal, $F = (G.M.m)/r^2$, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde una cierta altura sobre el suelo, es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?

La finalidad y los criterios de valoración de las respuestas ya han sido presentados en el capítulo 3 (páginas 142), y que recordamos a continuación en el **cuadro 5.12**

Cuadro 5.12 Estadillo para el análisis del cuestionario C5

<p>a) Indica semejanzas y diferencias entre el movimiento de un astronauta fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra, y el de una persona que se ha lanzado desde un avión (Sé tan preciso como puedas, escribe, utiliza dibujos, ...)</p>	
<p>Respuesta correcta: Se trata de movimientos dinámicamente idénticos, cuyas diferencias sólo son debidas al valor y dirección de la velocidad y la fuerza</p>	
<p>Respuestas incorrectas: Todas las que consideran que existen diferencias esenciales:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Todas las que intentan anular la fuerza resultante sobre el astronauta: <ul style="list-style-type: none"> - No es atraído, la gravedad no llega, no pesa; está en equilibrio o “flotando” (pero el paracaidista no); está muy lejos; .. ▪ Sólo escriben diferencias: el astronauta no cae, el paracaidista sí; .. . 	
<p>- No contesta; - Otra:</p>	
<p>b) Según la Ley de la gravitación Universal, $F = (G.M.m)/r^2$, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde una cierta altura sobre el suelo, es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?</p>	
<p>Respuesta correcta: Se trata de movimientos dinámicamente idénticos, cuyas diferencias sólo son debidas al valor y dirección de la velocidad y la fuerza</p>	
<p>Respuestas incorrectas: Todas las que consideran que existen diferencias esenciales:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Todas las que intentan anular la fuerza resultante sobre la Luna: <ul style="list-style-type: none"> - No es atraída, la gravedad no llega, no pesa; la distancia Luna Tierra es muy grande (“está al cuadrado y, por tanto, la fuerza de atracción es muy pequeña”); está en equilibrio (fuerza centrífuga; atracción de otros planetas; principio acción-reacción).. ▪ La Luna “se resiste” debido a su gran masa ▪ Sólo escriben diferencias 	
<p>- No contesta; - Otra</p>	

En el capítulo 3 hemos mostrado los resultados obtenidos durante varios años con alumnos no tratados de cursos superiores a 4º ESO (3º BUP y COU, 2º Químicas) y con profesores en formación y en activo. Esperamos encontrar que los alumnos experimentales, de 4º ESO y 1º Bachillerato muestran una comprensión de la capacidad unificadora de la Mecánica (y, por tanto, del concepto newtoniano de fuerza) mejor que los alumnos de control de su mismo nivel o superior, incluso más de un mes después de la instrucción. Los resultados de los profesores servirán para valorar la dificultad de lo conseguido con los grupos experimentales.

5.3.1.2.B) INSTRUMENTOS BASADOS EN LA PERCEPCIÓN DE LOS INDICADORES DE APROPIACIÓN POR LOS ALUMNOS.

Como hemos señalado, los instrumentos anteriores permiten realizar inferencias sobre los indicadores de apropiación a partir de la interpretación de producciones de los alumnos. Hemos completado este tipo de instrumentos con otros que permiten recogerla de una manera directa. Hemos dividido estos instrumentos según se vayan a pasar a grupos experimentales y de control (**B1**) o solamente a grupos experimentales (**B2**).

La característica común de estos instrumentos es que intentan valorar la percepción subjetiva de los alumnos sobre los indicadores de apropiación y sus actitudes hacia la enseñanza y generadas por ella. Hemos recurrido a distintos procedimientos para hacerlo:

- a) **Valoración respecto a una norma de proposiciones relacionadas con los indicadores de apropiación y las actitudes.** La validez, a efectos de nuestra investigación se basa en la aceptación de que la escala 0 a 10 está arraigada en todos los alumnos españoles, de manera que aunque se pase a grupos independientes o no se le pida al alumno una valoración comparativa, permite una valoración con sentido respecto a una norma. Parece lógico admitir, según nuestra tradición, que una puntuación de 7 a 10 supone que se está bastante o totalmente de acuerdo con la afirmación, mientras que una puntuación de 4 a 0 puede ser interpretada como de bastante a total desacuerdo con la afirmación. Se compararán estadísticamente los valores dados por los grupos experimentales y de control. En este caso esperamos encontrar un porcentaje significativamente mayor, estadísticamente, de alumnos en los grupos experimentales que en los de control que valoran positivamente los indicadores de apropiación. Cuando algún instrumento de este tipo se utilice con alumnos experimentales únicamente, analizaremos los valores absolutos asignados a los distintos ítems, con el criterio ya expresado (consideraremos positivo, favorable, cuando la valoración sea igual o superior a 7 o menor de 4 si es una proposición en forma negativa)

- b) **Valoración comparativa respecto a una norma, entre la enseñanza habitual y la instrucción problematizada.** En el caso de alumnos que a lo largo de su formación han recibido enseñanza estructurada de formas distintas, pueden valorar comparativamente, en la escala 0 – 10, en qué medida las estructuras distintas influyen en aspectos relacionados con la apropiación y las actitudes. También se puede utilizar, en alumnos de grupos experimentales, la valoración comparativa entre su percepción sobre aspectos relacionados con indicadores de apropiación y actitudinales, antes y después de la enseñanza.
- c) **Preguntas abiertas** que demandan el recuerdo espontáneo de características de la enseñanza recibida que pueden haber influido positiva o negativamente en indicadores de apropiación y actitudes.

Para comparar los resultados entre los grupos experimentales y de control, usaremos la *t* de *student* y cuando se haga valoración sobre norma –por el tipo de diseño utilizado en cada investigación- después de calcular el nivel de significatividad de la *t* de *student*, hallaremos el estadístico “*tamaño del efecto*”, que aparece con distintas terminologías según los autores como: Δ [delta de Glass (Glass et Al., 1981)], *d* (Cohen, 1988); o TE, *tamaño del efecto* (Hedges y Olkin, 1985; Casado et al., 1998).

Su uso está cada vez más extendido en los estudios estadísticos aplicados a las ciencias sociales, medicina, psicología, etc. Se trata de dar un valor de la magnitud del efecto producido por un tratamiento entre dos grupos distintos. Según algunos autores (Casado, Prieto y Alonso, 1998) éste es un nuevo valor estadístico que a veces resulta más útil para establecer las diferencias entre dos tipos de tratamiento de una misma población que otros parámetros estadísticos.

Este parámetro estadístico mide lo que se separan las medias de dos grupos, en número de desviaciones estándar de los grupos de control. Algunos autores hablan de que mide el “solapamiento” entre las distribuciones de los dos grupos, es decir, el porcentaje de las curvas de distribución de los dos grupos que no coinciden, de manera que cuanto mayor sea el valor de tamaño del efecto mayor es la diferencia entre los dos grupos. En Becker (2003), por ejemplo, encontramos

la relación entre el tamaño del efecto y el porcentaje de no solapamiento de las curvas. La siguiente tabla resume la interpretación de los valores del "tamaño del efecto" (Effect Size) *TE*:

Table 1: Interpretations of effect sizes

(<http://www.cem.dur.ac.uk/ebeuk/research/effectsize/ESbrief.htm>)

Effect Size	Percentage of control group who would be below average person in experimental group	Rank of person in a control group of 29 who would be equivalent to the average person in experimental group
0.0	50%	15
0.1	54%	13
0.2	58%	12
0.3	62%	11
0.4	66%	10
0.5	69%	9
0.6	73%	8
0.7	76%	7
0.8	79%	6
0.9	82%	5
1.0	84%	5
1.2	88%	3
1.4	92%	2
1.6	95%	2
1.8	96%	1
2.0	98%	1 (or 1 st out of 44)
2.5	99%	1 (or 1 st out of 160)
3.0	99.9%	1 (or 1 st out of 740)

En la literatura actual existen distintas ecuaciones para determinar este parámetro [ver Coe (2000); Becker, (2003)], nosotros usaremos la definición de Δ ($\Delta = (M_2 - M_1) / \sigma_{control}$), la diferencia entre las medias de los grupos dividido por la desviación estándar del grupo de control), cuando no haya mucha diferencias de desviaciones estándar entre los grupos a comparar, y usaremos d ($d = (M_2 - M_1) / \sqrt{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2) / 2}$, dividiremos la diferencia de las medias entre la desviación estándar ponderada de los dos grupos) cuando ésta sea grande.

Según afirman Black y Harrison (2000, p.26): "*Los tamaños del efecto típicos en las investigaciones analizadas están entre 0'4 y 0'7: un tamaño del efecto de 0'4 significaría que el alumno medio involucrado en una innovación conseguiría el mismo logro que un alumno en el 35 % superior de aquéllos no implicados en la innovación*". Para Cohen (1988), si el valor del *tamaño del efecto* de la diferencia de dos medias es de 0'2 podemos hablar de un tamaño del efecto pequeño (poco eficaz), medio si vale 0'5 (moderadamente eficaz) y grande para valores superiores de 0'8 (muy eficaz).

B.1) Instrumentos basados en la percepción de los alumnos de grupos experimentales y de control.

VALORACIÓN RESPECTO A UNA NORMA DE PROPOSICIONES RELACIONADAS CON LOS INDICADORES DE APROPIACIÓN Y LAS ACTITUDES

Para recoger la valoración, según una escala de 0 a 10, de los alumnos al final de la asignatura sobre todos los indicadores de apropiación y actitudes, hemos elaborado el **Cuestionario 6 (C6)**, (señalamos entre paréntesis, los indicadores de apropiación y de actitudes más relacionados con el ítem, Orientación (O), Implicación/ Motivación (I/M), Actitudes (A)). Como se ve se incluyen proposiciones formuladas de manera negativa, y que, incluso, son opuestas a otras. Esto aumentará la fiabilidad de los resultados obtenidos, al poner en evidencia la coherencia de las valoraciones realizadas.

Este cuestionario se pasará a alumnos de 4º de ESO y de 1º de Bachillerato de Ciencias (2º de BUP y 3º BUP según los años y centros en que se pase el cuestionario ya que esta investigación se ha llevado a cabo en un periodo de cambios educativos) de profesores experimentales y de control.

Cuando realicemos comparaciones con grupos de control, esperamos encontrar un porcentaje significativamente mayor de alumnos en los grupos experimentales que den una valoración igual o superior a 7 y/o que la media de los grupos

experimentales sea igual o superior a 7 y su diferencia respecto a la media de los grupos de control sea significativa estadísticamente.

Cuestionario C6 sobre la percepción de los alumnos sobre indicadores de apropiación y actitudes

Como sabes, una misma asignatura puede resultar atractiva o interesante para unos estudiantes y para otros no. Estamos interesados en recoger el efecto que ha tenido en tus actitudes la forma en que se ha desarrollado la asignatura de Física y Química, con el objetivo de poder mejorar la enseñanza de la misma.

Por ello, te pedimos que leas con cuidado cada pregunta antes de contestar, y que las contestes con la mayor sinceridad. No respondas sí o no, sino que debes valorar de 0 a 10 tu grado de acuerdo con lo que se dice (0 = nada de acuerdo; 10 = totalmente de acuerdo). El cuestionario es individual y anónimo.

Cuestiones: Con relación al modo en que se ha desarrollado la asignatura ...

- a) A lo largo de los temas y de todo el curso me he sentido "orientado", sabía por qué y para qué estábamos haciendo lo que hacíamos (O, A)
- b) Tengo la sensación de haber aprendido "de verdad"- (I/M, A)
- c) Ha habido oportunidades para expresar lo que pensaba sobre lo que estábamos tratando (A)
- d) Creo que lo que he aprendido no sirve sólo para aprobar un examen sino que mi comprensión sobre la Naturaleza ha mejorado claramente- (I/M, A)
- e) Me ha hecho reflexionar sobre ideas que tenía y convencerme de que había otras mejores (I/M, A)
- f) A la hora de la evaluación, lo que importaba de verdad era saberse bien las fórmulas y no equivocarse al sustituir- (O, I/M, A, en negativo)
- g) Ha mantenido alto o ha aumentado mi interés por aprender Física (I/M; A)
- h) Se ha favorecido la comprensión de verdad, no el que repitiéramos "cosas de memoria" (I/M; A)
- i) Me he dado cuenta de los problemas que se planteaban los científicos y del modo en que avanzaban en su solución. (I/M; A)
- j) Creo que lo que he aprendido ha hecho que piense de un modo diferente -sobre los aspectos tratados- que al principio de curso (I/M)
- k) Considero el curso demasiado exigente: no hay una relación razonable entre el esfuerzo que he tenido que hacer y lo que he aprendido (I/M; A en negativo)
- l) Lo que hemos tratado es muy difícil, creo que no he entendido nada "de verdad" (O, I/M; A, en negativo)
- m) Lo que hemos tratado no es fácil, pero la forma de trabajar y evaluar ha ayudado a que fuéramos avanzando con comprensión- (I/M; A)
- n) Creo que este curso ha contribuido a que me guste menos la Física (A, en negativo)
- o) Si pudiera elegir, me gustaría que la asignatura de Física el próximo curso se desarrollara del mismo modo que éste. (A)

Con la misma intención y los mismos criterios se pasará el cuestionario C7 de valoración sobre la percepción de los alumnos de los indicadores de apropiación. En este caso se pasará al finalizar un tema concreto (la luz y la visión) a los

alumnos de 3º ESO planteado como resolución de problemas, tanto de alumnos experimentales como de control.

Cuestionario C7 sobre la percepción de los alumnos sobre indicadores de apropiación y actitudes al final de un tema

Como sabes, una misma asignatura puede resultar atractiva o interesante para unos estudiantes y para otros no. Estamos interesados en recoger el efecto que ha tenido en tus actitudes la forma en que se ha desarrollado la asignatura de Física y Química, con el objetivo de poder mejorar la enseñanza de la misma.

Por ello, te pedimos que leas con cuidado cada pregunta antes de contestar, y que las contestes con la mayor sinceridad. No respondas sí o no, sino que **debes valorar de 0 a 10 tu grado de acuerdo con lo que se dice** (0 = nada de acuerdo; 10 = totalmente de acuerdo). El cuestionario es individual y anónimo.

Cuestiones: Con relación al modo en que se ha desarrollado la asignatura ...

- a) El índice del tema y su desarrollo me ha permitido sentirme orientado, es decir, saber lo que estaba haciendo en todo momento y para qué lo hacía (0)
- b) A lo largo del tema he tenido oportunidades de expresar lo que pensaba sobre lo que estábamos tratando y resolver mis dudas (A)
- c) Tengo la sensación de que iba haciendo actividades, una tras otra, sin saber muy bien por qué las hacía (I/M, A)
- d) La organización del tema sobre luz y visión me ha permitido aprender "de verdad" y no a repetir cosas de memoria (I/M)
- e) La organización del tema me ha permitido darme cuenta sobre cómo trabajan los científicos y cómo avanzar en la elaboración de teorías (I/M, A)
- f) Lo que hemos tratado es muy difícil, creo que no he entendido nada "de verdad" (0, I/M, A, en negativo)
- g) Esta forma de organizar la enseñanza ha contribuido a que me guste menos la asignatura (A en negativo)
- h) Si el curso próximo eligiera la asignatura de FQ, me gustaría que los temas se organizaran como éste (A)
- i) Lo que hemos tratado no es fácil, pero la forma de trabajar y evaluar me ha ayudado a comprender mejor los conceptos (sobre la luz y la visión) (I/M, A)
- j) Creo que lo aprendido en este tema ha hecho que cambie algunas de las ideas que tenía (sobre la luz y la visión) (I/M)

Para detectar la percepción de orientación y sus causas, hemos elaborado el **Cuestionario 8 (C8)**. En él, tras una introducción para situar al alumno y animarle a contestar, no se le pide únicamente una valoración, sino además, que describa o cite alguna característica o actividad concreta que esté relacionada con esa percepción. Tratamos de evitar así, dentro de lo posible, que una actitud global hacia la asignatura o el profesor se extienda a otros aspectos.

Esperamos encontrar que la valoración media de los alumnos de los grupos experimentales sea igual o superior a 7, y que, cuando se comparen con los grupos de control, la diferencia entre las medias o entre los porcentajes de alumnos que puntúan por encima de 7, sea estadísticamente significativa y favorable a nuestra hipótesis.

Así mismo, esperamos obtener evidencias de que los alumnos experimentales perciben que la estructura problematizada les ayuda a aprender, encontrando un mayor porcentaje de alumnos de los grupos experimentales que realicen valoraciones consistentes, es decir, acompañadas de la descripción de alguna acción que podría causar el efecto que se valora. Además esperamos que los alumnos experimentales basen su justificación (en un alto porcentaje) en aspectos genuinos de la forma de estructurar los temas y cursos como: la existencia de preguntas o problemas iniciales; referencias al índice o hilo conductor del tema, a la explicitación de problemas abiertos que son tratados posteriormente, a la realización de recapitulaciones, esquemas, gráficas de la estructura problematizada, mapas conceptuales.

Cuestionario C8 sobre la percepción de la orientación con justificación

Las respuestas a este cuestionario nos van a servir para hacer una revisión del funcionamiento de nuestras clases a lo largo del curso, con objeto de introducir posibles mejoras. Te rogamos, pues, que leas con atención las preguntas y las contestes con el mayor cuidado. (Puedes escribir también por detrás)

En ocasiones, un estudiante puede “sentirse perdido” en el desarrollo de un tema de Física: puede estar escuchando, escribiendo o haciendo actividades sin saber él “por qué” o él “para qué” de las mismas, sin comprender por qué se pasa de un tema a otros. A ese respecto, estamos interesados en conocer en qué medida la estructura y organización de los temas que hemos trabajado este año ha favorecido o no que te hayas sentido “bien orientado”, es decir, que hayas podido comprender qué estábamos haciendo y por qué.

Te pedimos por ello que valores de cero a diez las siguientes afirmaciones (0 significa que no estás nada de acuerdo con la afirmación y 10 que estás totalmente de acuerdo):

- a) La forma en que se ha iniciado el curso y cada tema me ha ayudado a comprender el interés de lo que íbamos a estudiar: _____(0)

Justifica brevemente tu valoración, indicando lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender el interés de lo que empezabas a estudiar:

- b) Al pasar de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) he podido comprender por qué se seguía ese orden y no otro: _____(0)

Justifica brevemente tu valoración, e indica lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender el orden en que se introducían los temas y los apartados de cada tema:

- c) La forma de finalizar cada tema me ha permitido comprender lo que habíamos avanzado en lo que nos proponíamos al principio del mismo: _____(0)

Justifica brevemente tu valoración, e indica, lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender los avances logrados:

Valoraremos también la riqueza en indicadores de apropiación del texto escrito por los alumnos, esperando encontrar diferencias significativas entre los alumnos experimentales y los de control.

Cuadro 5.13 Estadillo para el análisis de las respuestas del cuestionario C8

a) La forma en que se ha iniciado el curso y cada tema me ha ayudado a comprender el interés de lo que íbamos a estudiar	
Valoración	
Justificación	
¿Describe alguna actividad específica realizada al inicio del curso o tema que pueda ser causa de la valoración? ¿Alude a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y temas?	
Justifica la respuesta razonablemente ¿puede existir causa/efecto? SI/ NO	<ul style="list-style-type: none"> - Forma de trabajo (ac. abiertas, deductivo, en grupo, ...) - Planteamientos de problemas - Resúmenes /avances - Manifiesta una actitud positiva (me ha gustado, ha sido interesante,...)
b) Al pasar de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) he podido comprender por qué se seguía ese orden y no otro	
Valoración	
Justificación	
¿Describe alguna actividad específica realizada al cambiar de tema o apartado del tema que pueda ser causa de la valoración? ¿Alude a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y temas?	
Justifica la respuesta razonablemente SI/ NO	<ul style="list-style-type: none"> - -Resolución de problemas - Recapitulaciones /avances - Secuencia lógica(debe seguir ese orden)
c) La forma de finalizar cada tema me ha permitido comprender lo que habíamos avanzado en lo que nos proponíamos al principio del mismo	
Valoración	
Justificación	
¿Describe alguna actividad específica realizada al finalizar el tema que pueda ser causa de la valoración? ¿Alude a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y temas?	
Justifica la respuesta razonablemente SI/ NO	<ul style="list-style-type: none"> - Revisiones, repasos, avances, responder a las preguntas realizadas, recapitulaciones - Comprobar experimentalmente lo aprendido, prácticas, - Muestra una actitud positiva - Ha sido difícil, no me enteraba de nada
Riqueza del texto ideas con indicadores de apropiación: (Conjunto, tres ítems)	
<ul style="list-style-type: none"> - En blanco o casi - 1 a 5 ideas con sentido - 5 a 10 ideas con sentido - 11 a 20 ideas con sentido - Mas de 20 	
Otras categorías	

B.2) Instrumentos para recoger la percepción de los alumnos de grupos experimentales sobre los indicadores de apropiación y sus actitudes hacia, y generadas por, la enseñanza recibida.

Para los alumnos de grupos experimentales pasaremos distintos cuestionarios para determinar el grado en que la enseñanza problematizada recibida incide en la adquisición de indicadores de apropiación y en la mejora de sus actitudes. Queremos obtener la percepción sobre aspectos expresamente relacionados con la estructura problematizada, y la valoración comparativa (entre enseñanza problematizada y habitual).

En este caso los grupos de control son los propios alumnos experimentales, que tienen como referencia la enseñanza anteriormente recibida. Los siguientes instrumentos, similares a los anteriores, sin embargo, aparecen afirmaciones que inciden en mayor medida en los aspectos genuinos de la estructura problematizada.

A continuación presentaremos los instrumentos tal y como se han pasado a los alumnos.

VALORACIÓN RESPECTO A UNA NORMA DE LA INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA POR ALUMNOS DE GRUPOS EXPERIMENTALES DE DISTINTA FORMACIÓN

El cuestionario 9 (C9) se pasará a alumnos universitarios y de secundaria de los profesores investigadores, al final de un curso, de forma anónima y sin límite de tiempo. Estos alumnos tienen en común que participan en asignaturas impartidas siguiendo una enseñanza problematizada.

Como en el C6 señalamos entre paréntesis, los indicadores de apropiación y de actitudes más relacionados con el ítem, Orientación (O), Implicación/ Motivación (I/M); Actitudes (A) según los criterios reflejados en la página 211.

El cuestionario C9, se pasará a alumnos experimentales de Magisterio y de 1º Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y la Salud

Cuestionario C9: Percepción de los alumnos experimentales sobre indicadores de apropiación y actitudes al final del curso

Las respuestas a este cuestionario nos van a servir para hacer una reflexión sobre el funcionamiento de nuestras clases a lo largo del curso, con objeto de introducir posibles mejoras.

Valora de 0 a 10 la siguiente afirmación (0 = totalmente en desacuerdo; 10 = totalmente de acuerdo):

- a) La organización del curso y de los temas como problemas contribuyen a la implicación de los alumnos haciendo que aprendan "de verdad"---- (I/M)
- b) La estructura problematizada de los temas y el curso ha favorecido que me diera cuenta de si comprendía "de verdad" cuando estudiaba, pues podía valorar si había avanzado o no en lo que se pretendía.----- - (I/M,O)
- c) La estructura problematizada de los temas y el curso ha hecho que estuviera "orientado", que supiera qué estaba haciendo, por qué y para qué-- ----- --(O)
- d) No me daba cuenta de la "estructura", realmente la sensación que he tenido es la de "hacer actividades", una tras otra.----- -(O)
- e) Han existido las oportunidades para que se pueda aprender significativamente - (I/M,A)
- f) Independientemente del examen, tengo sensación personal de "avance" de haber aprendido "de verdad" ----- -- (A)

El **cuestionario 10 (C10)** se pasará a alumnos de Magisterio de distintas especialidades (no científicas) que participan en la misma asignatura impartida siguiendo una enseñanza problematizada, y que tienen distinta formación (COU, Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza, Ciencias Sociales y Humanidades, Ciclos Formativos,...).

El cuestionario siguiente tal y como se les pasará a los alumnos nos servirá para valorar la enseñanza recibida y otras cuestiones, que sin estar relacionadas directamente con la estructura forman parte de la forma de trabajar en el aula.

Cuestionario C10: Valoración de la asignatura al final del curso de los alumnos experimentales

Valora de 0 a 10 los siguientes aspectos:

- a) El curso ha producido un cambio importante en lo que yo pensaba sobre cómo enseñar ciencias
- b) La organización del curso y de los temas como problemas contribuyen a la implicación de los alumnos, haciendo que se aprenda "de verdad" (I/M, A)
- c) La metodología empleada ha sido coherente con lo desarrollado sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (I/M; A)
- d) Han existido las oportunidades adecuadas para que se pueda aprender significativamente (I/M)
- e) Sensación personal de "avance" (A)
- f) El curso es importante en la formación inicial de un maestro de primaria (A)
- g) Preparación del profesor
- h) El cuaderno de trabajo es útil para aprender (debe mantenerse)
- i) Las recapitulaciones problematizadas ayudan a estudiar y aprender (debe mantenerse) (I/M; A)
- j) Los mapas conceptuales ayudan a estudiar y aprender (debe mantenerse)
- k) El sistema de evaluación empleado fomenta aprender "de verdad"

Aspectos que añadirías o que son mejorables:

1º:

.....

2º:

.....

3º:

.....

Valoración abierta (puedes valorar aspectos no contemplados en el cuestionario, hacer comentarios, etc.):

VALORACIÓN COMPARATIVA RESPECTO A UNA NORMA, ENTRE LA ENSEÑANZA HABITUAL Y PROBLEMATIZADA

A otros grupos se les pasará la **Cuestión 11 (C11)**. Esta es una cuestión donde no se les pregunta directamente sobre la asignatura problematizada, por lo que la elección de la misma y el recuerdo espontáneo de características relacionadas con la estructura problematizada tiene un mayor valor probatorio.

Cuestionario C11 Pregunta abierta sobre la sensación de aprendizaje y la asociación con las características de la enseñanza. Elección de asignaturas en las que tienen mayor sensación de aprendizaje

Te pedimos que selecciones la asignatura o asignaturas (un máximo de dos) en las que tienes mayor sensación de haber aprendido de verdad. Señala las características de la forma de organizar los contenidos y del desarrollo en la clase de estas asignaturas, que creas que más han contribuido a favorecer el aprendizaje

Esta cuestión, **C11**, se pasará en la época en que se realiza la "evaluación" generalizada de las asignaturas en la universidad. Una persona -que no puedan relacionar en modo alguno con la asignatura ni con el profesor- las pasará de manera anónima e individual. Si nuestra hipótesis es cierta, esperamos que la asignatura experimental esté entre las más frecuentemente elegidas. Y esperamos, también, que los que la hayan elegido se refieran a aspectos genuinos de la estructura problematizada ya citados anteriormente. Mediremos el porcentaje de alumnos que eligen la asignatura entre las dos (de un total de más de diez asignaturas en el curso) en las que consideran que han aprendido "de verdad" y que se refieren a alguno o varios aspectos de la estructura como factores que más han contribuido a favorecer el.

Como en la pregunta se les pide que señale las características de la forma de organizar los contenidos y del desarrollo en la clase de la(s) asignatura(s) elegida(s), esperamos que cuando elijan la asignatura con la estructura problematizada, los alumnos se apoyen en las características genuinas de la estructura propuesta.

Para valorar la justificación de la elección de nuestra asignatura utilizaremos se valorará positivamente si hace referencia a algunas de las características genuinas de la forma de estructurar la enseñanza. Consideraremos los siguientes aspectos:

Cuadro 5.14 Estadillo para valorar los cuestionarios C11

- Indica aspectos básicos y genuinos de la estructura problematizada como interesantes o útiles, tales como:
 - Hace referencia a que la forma en que se ha iniciado el curso y cada tema le ha ayudado a comprender el interés de lo que se iba a estudiar
 - Hace referencia expresa a alguna actividad realizada al inicio del curso o tema que le ayude a estar orientado
 - Alude a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y tema
 - Hace referencia a cómo se pasa de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) que permita apreciar que ha comprendido por qué se seguía ese orden y no otro
 - Hace referencia a que las recapitulaciones, la forma de finalizar cada tema, le haya permitido comprender lo que se ha avanzado en el curso y en el tema
- Indica aspectos básicos, pero no exclusivos de la estructura problematizada, como interesantes o útiles, tales como:
 - Hace referencia a aspectos no relacionados exclusivamente con la estructura problematizada (como p. ej.: se ha trabajado en grupos)
 - Identificamos posibles referencias a actitudes negativas

El cuestionario 12 (C12) nos permitirá realizar una valoración comparativa entre la estructura problematizada y la habitual. Esta parte del diseño experimental consistirá en obtener de los alumnos de grupos universitarios experimentales, de distintas especialidades pero que cursan la misma asignatura, una valoración comparativa sobre en qué medida creen que la forma de estructurar los temas y la asignatura que acaban de cursar –en comparación con otras- favorece la consecución de aspectos fundamentales del aprendizaje de conocimientos científicos y de los criterios de apropiación.

Para aumentar la relevancia de los resultados de esta valoración, la pasaremos a los alumnos después de que hayan contestado la cuestión abierta (C11). En ese momento, una vez doblada la hoja de respuesta a la cuestión abierta (C11) en la que deben elegir las 2 asignaturas (entre 10) en las que tengan mayor sensación de haber aprendido, ya no podrán escribir, se les entregará el cuestionario C12 de valoración comparativa sobre la influencia de la forma de estructurar la enseñanza.

El instrumento formado por C11 y C12 se pasará de tal manera que los alumnos no asociaran la asignatura experimental cuando contestan a C11 y los investigadores no conozcan las respuestas a C11 cuando pasen C12.

Cuestionario C12: Valoración comparativa sobre la influencia de la estructura problematizada en la percepción de apropiación y actitudes de los alumnos (Segunda parte prueba “cuasi ciega”)

En la asignatura (...), tanto la estructura del curso como la de cada uno de los temas que en él se han desarrollado han tenido una serie de características específicas. Algunas de ellas son:

1. Se ha comenzado planteando una situación problemática y el interés que puede tener tratar de avanzar en su solución
2. El índice se puede identificar como una posible estrategia lógica para avanzar y/o resolver el problema planteado inicialmente
3. Las actividades de enseñanza/aprendizaje se han desarrollado en un contexto hipotético
4. Se han realizado recapitulaciones periódicas para ver dónde se encontraba la clase con relación al problema planteado en cada tema y en el curso.

Creemos que esta forma de estructurar los temas y los cursos (“estructura como problema”) es distinta de la que habitualmente se utiliza en los libros de texto o en la enseñanza y deseamos conocer tu valoración de la misma. Por ello, te pedimos una valoración comparativa:

a.-

Valora (de 0 a 10) en qué medida se favorecen los siguientes aspectos con la forma de estructurar los temas y cursos	“ESTRUCTURA COMO PROBLEMA”	“ESTRUCTURA HABITUAL”
<ul style="list-style-type: none"> - Implicación e interés de los alumnos - Orientación (saber qué se está tratando, por qué y para qué, dónde se está,..) - Evaluación “con sentido” dentro del proceso (tomando conciencia de lo que se ha avanzado en el problema planteado, los obstáculos que se han debido superar, si se puede dar respuesta a algo que tenía interés, .., frente a una evaluación para constatar si saben o no ... al final de la enseñanza con la finalidad de calificar) - El aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales - La aproximación a las formas en que se producen conocimientos científicos 		

b.- Expresa aspectos no recogidos en la valoración anterior y que, en tú opinión, muestren ventajas o inconvenientes de la “estructura de los cursos y temas como problemas” frente a otras “estructuras habituales” (utiliza el reverso si es necesario)

Si nuestra hipótesis es cierta, esperamos, que la asignatura cuya instrucción se ha desarrollado de una forma problematizada esté entre las más frecuentemente elegidas en todas las especialidades, y que la valoración comparativa de los alumnos que la han elegido, sea favorable a nuestra hipótesis. Pero, lo que

aportaría una evidencia más rotunda a nuestro favor sería que, la valoración comparativa de los alumnos que **no** han elegido la asignatura entre sus dos "favoritas", también fuera positiva respecto a la influencia de la estructura problematizada para favorecer aspectos esenciales del aprendizaje. Mediremos, pues, las diferencias del grupo que ha elegido la asignatura problematizada y la del grupo que no la haya elegido, esperando que **ambas** sean favorables para nuestra hipótesis. La parte **b** del cuestionario nos permite detectar otras consideraciones no contempladas en las cuestiones cerradas.

PREGUNTA ABIERTA QUE DEMANDA RECUERDO ESPONTÁNEO DE CARACTERÍSTICAS DE LA ENSEÑANZA RECIBIDA QUE PUEDEN HABER INFLUIDO EN INDICADORES DE APROPIACIÓN Y ACTITUDES

El cuestionario 13 (C13) es una pregunta abierta que pide el recuerdo explícito de características de la enseñanza recibida.

Se pasará a otros grupos de alumnos que han seguido una enseñanza problematizada, al finalizar del curso.

Cuestionario C13 Recuerdo espontáneo de características de la enseñanza recibida (Alumnos experimentales)

Acabas de participar en un curso de una temática determinada. Te pedimos que expreses qué características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos te han resultado de mayor interés y/o utilidad.

Esperamos que los alumnos expresen mayoritariamente las características más relevantes de la estructura problematizada.

Para realizar la valoración de la pregunta abierta utilizaremos el estadillo de valoración reflejado a continuación, similar al del cuestionario C11.

Cuadro 5.14 Estadillo para valorar el cuestionario C13 (totalmente abierta)

Consideraremos que percibe la estructura problematizada positivamente si:

- Indica aspectos básicos y genuinos de la estructura problematizada como interesantes o útiles, tales como
 - La existencia de un problema o pregunta que organizaba la actividad y el aprendizaje.
 - la forma en que se ha iniciado el curso y/o cada tema le ha ayudado a comprender el interés de lo que se iba a estudiar (genéricamente o con ejemplos).
 - existencia de un índice, o hilo conductor, con estructura de problema.
 - realización de recapitulaciones, la forma de finalizar los temas o la forma en que se pasa de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) (normalmente asociada a la orientación y a la sensación de avance/ aprendizaje).
 - contexto hipotético-deductivo.
- Indica aspectos básicos, pero no exclusivos de la estructura problematizada, como interesantes o útiles, tales como:
 - El trabajo en grupos.
 - La realización de experimentos o actividades prácticas.

El diseño para los alumnos, por tanto, consta de un metaanálisis sobre tres indicadores de comprensión de cada uno de los cuatro temas analizados y de trece cuestionarios para probar los indicadores de apropiación y actitudes positivas hacia la enseñanza, tanto abiertos como cerrados.

En el siguiente apartado nos detendremos en analizar el diseño para medir las expectativas de los profesores ante la estructura problematizada de temas y cursos.

5.3.2 Diseño experimental para obtener evidencias sobre las expectativas positivas generadas por la organización de los temas y cursos como problemas en los profesores de física y química

Dentro del modelo de enseñanza por investigación dirigida se han realizado numerosas investigaciones en las que se incluye la realización de actividades de formación para profesores en activo de Física y Química y la medición de las expectativas generadas al finalizar la actividad. Estas actividades formativas tienen en común que no pretenden transmitir directamente a los profesores cómo deberían desarrollar el aspecto tratado (sea de carácter general como resolución de problemas, trabajos prácticos, evaluación,... o un tema específico –como energía, corriente eléctrica, estructura de las sustancias,...) sino hacerles tomar conciencia del interés y/o deficiencias de lo que se va a tratar y participar en la (re)construcción de propuestas alternativas, en un ambiente de reflexión colectiva.

No obstante, estos trabajos han indagado en aspectos generales como la resolución de problemas (Martínez Torregrosa, 1987; Ramírez, 1990; Ramírez, Gil y Martínez Torregrosa, 1994; Reyes, 1991); los trabajos prácticos (Payá, 1991; González, 1994), la evaluación (Alonso, 1989) o temas específicos [Energía (Doménech, 2000), Cálculo Diferencial (López-Gay, 2002), Astronomía (Martínez Sebastián, 2003),...]

Por nuestra parte, a lo largo de estas investigaciones, hemos realizado actividades formativas (profesores investigadores y colaboradores) donde se han tratado temas específicos de ESO y Bachillerato, con una estructura problematizada, y también actividades formativas de mayor duración donde hemos tratado la planificación de una gran síntesis [“el movimiento de todas las cosas” (Martínez Torregrosa, Verdú et al., 1995 y 1999 ..) y “la estructura de todas las cosas” Martínez Torregrosa, Verdú et al., 1991, 1993 y 1998..); (ver en el capítulo 3 los ejemplos presentados)] y desarrollado cada uno de los temas que la constituyen. Al final de dichos cursos hemos analizado la opinión de los profesores participantes.

Somos conscientes de las dificultades que encuentran los profesores para poner en práctica las propuestas que, incluso, han valorado muy positivamente (Briscoe y Peters, 1997). Pero debemos resaltar que, probablemente, buena parte de dichas dificultades provengan de que la gran mayoría de las actividades formativas para profesores en activo suelen basarse en la transmisión directa de las nuevas propuestas (que se ha mostrado inefectiva); y que en el diseño experimental que acabamos de presentar para los alumnos, obtendremos resultados de alumnos de profesores "colaboradores" que han llevado a la práctica nuestras propuestas. Así pues, los resultados sobre las expectativas iniciales de los profesores que participan en nuestros cursos irán acompañados de los resultados de sus alumnos.

Hemos centrado, pues, el diseño experimental para profesores en obtener evidencias que apoyen que –al finalizar los cursos donde se tratan los temas con una estructura problematizada- perciben que dicha forma de planificar la enseñanza mejora:

- a) los indicadores de apropiación de los alumnos y sus actitudes, es decir, favorece su implicación, su interés y su orientación (saber que se está tratando, qué interés tiene lo que se está tratando y qué han avanzado o esperan avanzar, al finalizar un tema).
- b) el aprendizaje de la Física y Química, es decir, favorece el aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales y aproxima a los alumnos a las formas características de producción de conocimientos científicos.
- c) las actitudes de los propios profesores hacia la enseñanza.

Para ello, hemos diseñado instrumentos variados que, en conjunto, combinan la obtención de opiniones mediante preguntas abiertas con la valoración cuantitativa, comparativa y no comparativa, de aspectos relacionados expresamente con la estructura problematizada.

Presentaremos varios cuestionarios que pasaremos al finalizar los cursos de formación donde se habrá ejemplarizado temas con la estructura propuesta. En cada curso se presentará una primera parte con una o varias preguntas abiertas y una vez contestadas éstas, y junto a ellas, un cuestionario cerrado de valoración sobre aspectos concretos que nos permitirán completar la valoración abierta para obtener conclusiones estadísticas. En unos casos el cuestionario cerrado será de valoración comparativa entre la enseñanza habitual y la enseñanza problematizada, en otros de valoración sobre norma. En un caso se ha demandado una triple valoración, relacionando la importancia de algunos aspectos en la enseñanza y cómo éstos son contemplados en la enseñanza habitual y en la enseñanza problematizada. Como en otras ocasiones consideraremos que una valoración por encima de 7 supondrá estar de acuerdo con la propuesta y por debajo de 4 estar muy poco de acuerdo.

Por lo tanto expondremos a continuación los distintos instrumentos utilizados agrupando aquellos cuestionarios que se han pasado de forma conjunta a los mismos profesores. Utilizaremos junto al número del instrumentos la letra **p** para indicar que es un instrumento utilizado con profesores seguido de la letra **a**, cuando se trate de una pregunta abierta, y **b** para los cuestionarios cerrados.

En este apartado hemos diseñado cuatro tipos de instrumentos, **C14p-a** y **C14p-b**, **C15p-a** y **C15p-b**, **C16p-a** y **C16p-b** y **C17p-a** y **C17p-b**.

En primer lugar presentaremos el **Cuestionario 14 p-a (C14p-a)** y **C14p-b**, que se pasarán a los profesores después de un curso de larga duración (más de 100 horas) en donde se tengan oportunidades de analizar más de un tema (por ejemplo todos los que constituyen una gran síntesis o un curso completo) y con detenimiento.

En primer lugar presentamos la pregunta abierta **C14p-a**. Si los profesores al ser preguntados de esta forma abierta, se refieren positivamente a los aspectos más importantes de la estructura problematizada supondremos que perciben que esta forma de trabajar mejora la enseñanza y el aprendizaje.

Cuestionario C14p-a Valoración abierta de las características de la estructura problematizada de los temas percibidas por los profesores (recuerdo no dirigido).

En las sesiones anteriores se ha introducido una forma de organizar y estructurar los cursos basada en la generación de situaciones problemáticas iniciales que permiten estructurar los mismos.

Indica tus apreciaciones personales sobre dicha forma de estructurar los cursos (incluyendo también las posibles dificultades que crees que deberían ser superadas para ponerla en práctica en tus clases)

Para valorar las respuestas tendremos en cuenta los siguientes criterios (son similares a los utilizados en los cuestionarios C11 y C12 de los alumnos y que exponemos a continuación:

Cuadro 5.15 Estadillo para valorar C14p-a, C15p-a y C16p-a

Consideraremos a favor de nuestra hipótesis si:

a) Adquieren y manifiestan expectativas positivas sobre las potencialidades de esta forma de enseñanza, en concreto sobre:

- su influencia sobre la implicación, orientación y actitud de los alumnos (indicadores de apropiación)
- su influencia para favorecer aprendizajes de alto nivel, de conocimientos ricos y estructurados
- su influencia para favorecer la aproximación a las características de la producción de conocimientos científicos

b) Expresa características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos genuinas de nuestra propuesta, que inciden positiva en la enseñanza/aprendizaje o le resultan de interés y/o utilidad, como:

- la forma en que se ha iniciado el curso y cada tema contribuye a comprender el interés de lo que se iba a estudiar
- expresa a alguna actividad realizada al inicio del curso o tema que le ayude a estar orientado
- Alude positivamente a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y temas (planteamiento del problema, estrategia seguida, el índice, recapitulaciones, planteamiento de problemas abiertos, practicas como pequeñas investigaciones, resolución de problemas de lápiz y papel, ...)

No consideraremos a favor de nuestra hipótesis:

- Únicamente comenta referencias a aspectos no relacionados exclusivamente con la estructura problematizada.
- Muestra sólo posibles referencias negativas respecto a la estructura problematizada.

Como comentamos este instrumento tiene una segunda parte (C14p.b) de valoración comparativa sobre los indicadores de apropiación, que nos permiten concretar la pregunta abierta.

Esta parte del diseño experimental consistirá en obtener de los profesores en activo, que asisten a cursos de formación, una valoración comparativa sobre en qué medida creen que la forma de estructurar los temas desarrollados en el curso al que han asistido –en comparación con otras formas de estructurar la asignatura, la que denominaremos “habitual”- favorece la consecución de aspectos fundamentales del aprendizaje de conocimientos científicos y los indicadores de apropiación de los alumnos.

Si nuestra hipótesis es cierta, esperamos, en todos los casos, que la propuesta elaborada esté mejor valorada, que se reconozca la posible influencia de dicha estructura para favorecer aprendizajes de alto nivel, de conocimientos ricos y estructurados (frente a pobres y aislados) y que esta forma de trabajar facilita la aproximación a las características de la producción de conocimientos científicos.

Cuestionario 14p-b (C14-b): Valoración comparativa sobre la influencia de la estructura problematizada en el aprendizaje (al final de un curso de larga duración)

En las sesiones anteriores se ha introducido una forma de organizar y estructurar los cursos basada en la generación de situaciones problemáticas iniciales que permiten estructurar los mismos

Nos interesa conocer la valoración inicial y comparativa sobre en qué medida se favorecen los siguientes aspectos *con dicha forma de organizar y estructurar los cursos* y en la habitual empleada en los textos.

a.-

Valora (de 0 a 10) en qué medida se favorecen los siguientes aspectos con la forma de estructurar los temas y cursos	ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA HABITUAL DEL CURSO	ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DEL CURSO A PARTIR DE PROBLEMAS ESTRUCTURANTES
<ul style="list-style-type: none"> - Orientación de los alumnos (saber donde están, lo que se ha avanzado, qué se busca, ...) - Familiarizar con la metodología científica - Construcción de síntesis, de concepciones globalizadoras - Contribución a que el curso resulte atractivo e interesante a los alumnos - Contribución a que el curso resulte atractivo e interesante a los profesores - Facilitar las revisiones, recapitulaciones - Conexión con otros temas y cursos - Favorecer una enseñanza más activa 		

b.-

Expresa aspectos no recogidos en la valoración anterior y que, en tú opinión, muestren ventajas o inconvenientes de la "estructura de los cursos y temas como problemas" frente a otras "estructuras habituales" (utiliza el reverso si es necesario)

A continuación presentaremos el instrumento formado por los **Cuestionario C15 p-a (C15p-a)** y **Cuestionario C15 p- b (C15p-b)**. Se pasará a profesorado en activo que asiste a cursos de formación al finalizar los mismos, de una duración entre 30 y 40 horas sobre la enseñanza de temas específicos (energía, trabajo y calor, óptica, corriente eléctrica, estructura de las sustancias, astronomía...) que tienen en común la estructura problematizada.

La pregunta **C15p-a** es una pregunta abierta que busca de una manera indirecta si los profesores hacen referencia a características genuinas de la estructura problematizada, como aspectos que ha encontrado útiles y/o interesantes. Puesto que no se ven forzados por el enunciado, tendrá un mayor valor probatorio a favor de nuestra hipótesis encontrar un porcentaje importante de profesores que hacen referencias a aspectos tales como: planteamiento inicial de preguntas o problemas, índice como estrategia e hilo conductor, ambiente hipotético deductivo, posibilidad de expresar y poner a prueba las ideas, realización de recapitulaciones, o relación de problemas abiertos. Esta misma pregunta se ha pasado a los alumnos experimentales (**C13** pág.243)

Cuestionario C15p-a Características de la estructura de los temas percibidos por los profesores (recuerdo no dirigido).

Acabas de participar en un curso de una temática determinada. Te pedimos que expreses qué características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos te han resultado de mayor interés y/o utilidad.

Para valorar y analizar este cuestionario usaremos el mismo estadillo de la pregunta **C14p-a**.

La segunda parte del instrumento es el **Cuestionario, C15p-b**, sobre valoración comparativa entre la enseñanza habitual y la propuesta en el curso. Es el mismo que se ha pasado a los alumnos experimentales (**C12**, Pág. 242).

En el esperamos encontrar que los profesores asistentes a cursos de formación valoran muy positivamente la propuesta realizada y que existan diferencias

significativas con otro tipo de enseñanza, y maticen la valoración realizada en la pregunta abierta.

Cuestionario C15p-b: Valoración comparativa sobre la influencia de la estructura problematizada en el aprendizaje (al final de un tema específico)

En esta asignatura, tanto la estructura del curso como la de cada uno de los temas que en él se han desarrollado han tenido una serie de características específicas. Algunas de ellas son:

1. Se ha comenzado planteando una situación problemática y el interés que puede tener tratar de avanzar en su solución.
2. El índice se puede identificar como una posible estrategia lógica para avanzar y/o resolver el problema planteado inicialmente.
3. Las actividades de enseñanza/aprendizaje se han desarrollado en un contexto hipotético.
4. Se han realizado recapitulaciones periódicas para ver dónde se encontraba la clase con relación al problema planteado en cada tema y en el curso.

Creemos que esta forma de estructurar los temas y los cursos (“estructura como problema”) es distinta de la que habitualmente se utiliza en los libros de texto o en la enseñanza y deseamos conocer tu valoración de la misma. Por ello, te pedimos una valoración comparativa:

a.-

Valora (de 0 a 10) en qué medida se favorecen los siguientes aspectos con la forma de estructurar los temas y cursos	“ESTRUCTURA COMO PROBLEMA”	“ESTRUCTURA HABITUAL”
<ul style="list-style-type: none"> - Implicación e interés de los alumnos - Orientación (saber qué se está tratando, por qué y para qué, dónde se está,..) - Evaluación “con sentido” dentro del proceso (tomando conciencia de lo que se ha avanzado en el problema planteado, los obstáculos que se han debido superar, sí se puede dar respuesta a algo que tenía interés, .., frente a una evaluación para constatar si saben o no ... al final de la enseñanza con la finalidad de calificar) - El aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales - La aproximación a las formas en que se producen conocimientos científicos 		

b.- Expresa aspectos no recogidos en la valoración anterior y que, en tú opinión, muestren ventajas o inconvenientes de la “estructura de los cursos y temas como problemas” frente a otras “estructuras habituales” (utiliza el reverso si es necesario)

El tercer instrumento estará formado por el **Cuestionario 16p-a (C16p-a)** y **C16p-b (C16p-b)**. Tiene el mismo propósito que los anteriores y se pasará al final de un curso de de formación (impartido por los profesores investigadores y/o colaboradores) de 30 y de 40 horas de duración sobre un tema específico.

En el primer cuestionario, **C16p-a**, se les pregunta sobre su valoración de la estructura problematizada, y aspectos concretos de la misma (pero sin citarlo). Es, por tanto, algo más dirigido que el anterior.

Cuestionario C16p-a Valoración abierta de la estructura problematizada por los profesores.

En este curso la enseñanza se ha planificado según una estructura problematizada, distinta de la que suele ser habitual en los libros de texto. Es posible que pienses que dicha estructura puede influir positiva, nada o negativamente en la enseñanza y el aprendizaje en el aula: que da lo mismo la forma de estructurar los temas o, por el contrario, que es un aspecto muy importante.

Nos interesa conocer tu valoración sobre este asunto, y que resaltes aspectos concretos de esta forma de estructurar los temas que creas que pueden incidir positivamente (si los hay) y aspectos concretos que puedan incidir negativamente (si los hay).

Gracias por tu colaboración.

Valoración abierta sobre la estructura problematizada (sigue detrás si es necesario)

Di aspectos concretos de la forma de estructurar (o directamente fomentados por ella) que creas que pueden incidir positiva/negativamente en la enseñanza/aprendizaje (sigue detrás si es necesario)

Al igual que en las preguntas abiertas anteriores utilizaremos el estadillo de la página 248. Como en los casos anteriores esperamos que los profesores valoren positivamente la propuesta realizada y se refieran a los aspectos concretos genuinos de la enseñanza problematizada como aquellos que inciden positivamente en la enseñanza/aprendizaje.

La segunda parte del instrumento es el cuestionario **C16p-b**. En él se pide una valoración respecto a una norma (de 0 a 10), del grado de acuerdo con las afirmaciones realizadas.

Cuestionario C16p-b Valoración respecto a norma de la influencia de la estructura problematizada en el aprendizaje

En este curso la enseñanza se ha planificado según una estructura problematizada, distinta de la que suele ser habitual en los libros de texto. Es posible que pienses que dicha estructura puede influir positiva, nada o negativamente en la enseñanza y el aprendizaje en el aula: que da lo mismo la forma de estructurar los temas o, por lo contrario que es un aspecto muy importante.

Nos interesa conocer la valoración sobre este aspecto, y que resaltes aspectos concretos de esta forma de estructurar los temas que creas que pueden incidir positivamente (si los hay) y aspectos concretos que puedan incidir negativamente (si los hay). Como tenemos que analizar las respuestas de muchos profesores, para facilitar el análisis te pedimos una valoración cuantitativa.

Los psicólogos dicen que después de haber estado 20 horas en un curso, los asistentes casi siempre valoran bien el mismo, ya que han empleado su tiempo en él o han simpatizado con el profesor. Te pedimos que no te dejes llevar por estos "efectos", si existen, y que pienses las respuestas antes de darlas.

Gracias por tu colaboración

a) Valora de 0 a 10 (0 nada de acuerdo 10 totalmente de acuerdo) en qué medida crees que la forma de estructurar los temas mejoraría la enseñanza y el aprendizaje_____

Valora de 0 a 10, en qué medida la forma en que se ha estructurado el tema, (estructura problematizada), puede favorecer los siguientes aspectos:

- b) El interés de los alumnos sobre lo que se va a tratar en el tema _____
- c) La orientación de los alumnos (saber "dónde" están, qué y para qué están haciendo lo que hacen, ...) _____
- d) La orientación del profesor (tener la estructura en "mente", evitar hacer "cosas sueltas") _____
- e) La evaluación con sentido, como recapitulación y reflexión sobre lo avanzado y la firmeza de dicho avance _____
- f) Oportunidades para que se puedan expresar las ideas (de alumnos y profesor) y para someterlas a prueba. _____
- g) Orientar y justificar la enseñanza y el aprendizaje por la comprensión y no por el examen _____
- h) Apropiación por los alumnos de formas de pensar próximas al trabajo científico _____
- i) El aprendizaje "sólido", justificado, de los conocimientos _____
- j) Hacer que el profesor vea más atractiva la enseñanza _____
- k) La clarificación de los objetivos del tema _____

Se trata de nuevo de valorar las expectativas que adquieren los profesores que asisten a cursos de formación sobre la influencia de la estructura problematizada de los temas y cursos en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la Física y Química. Como se puede constatar, este instrumento incluye ítems que afectan directamente al profesor: **d), f), g) y j)** cuya intención se comenta por sí sola. Esto nos permitirá valorar si los profesores no sólo creen que la estructura problematizada puede mejorar el aprendizaje y actitudes de los alumnos, sino si creen que sería mejor para ellos mismos.

Esperamos que la valoración dada a las afirmaciones que apoyan nuestra hipótesis sea superior a 7 en todos los casos.

En último lugar presentamos el instrumento formado por los cuestionarios **cuestionario C17p-a, y C17p-b** que se pasará también al finalizar un curso de corta duración (30 horas) en donde se trate un tema con la estructura propuesta con detenimiento. Se diferencia de los anteriores en que en la pregunta abierta no se le pregunta sobre la enseñanza problematizada sino sobre la habitual y que en la parte cerrada se le solicita una triple valoración. En primer lugar se les pide a los profesores participantes que valoren la importancia de diferentes aspectos para que los alumnos aprendan el tema específico que se ha desarrollado en el curso y a continuación, se les pide que valoren cómo son contemplados dichos aspectos en la enseñanza habitual y en la enseñanza problematizada.

Para valorar el cuestionario **C17p-a** utilizaremos un estadillo similar al utilizado en las cuestiones abiertas anteriores entendiendo que si los profesores consideran que la enseñanza habitual no favorece el aprendizaje del tema es porque consideran que este se ve favorecido en mayor medida por la enseñanza ejemplificada en el curso, la enseñanza problematizada. Si además a la hora de justificar la valoración se refieren a los aspectos genuinos de esta enseñanza su criterio tendrá más sentido ya que supondría que estos aspectos tratados en el curso le han generado expectativas positivas.

Cuestionario C17p-a: sobre la enseñanza habitual de un tema determinado

Acabas de participar en un curso sobre la enseñanza de una temática determinada. Creemos que te encuentras en una situación privilegiada para poder analizar la forma en que habitualmente se enseña este tema, la forma que habías conocido o practicado, incluso, hasta ahora (a través de libros, otros compañeros, etc.). Estamos realizando un trabajo para mejorar la enseñanza de este tema, por lo que nos interesa mucho tu opinión justificada y te agradecemos que dediques parte de tu tiempo a contestar nuestras preguntas.

Valora razonadamente en qué medida crees que la enseñanza habitual favorece un aprendizaje "de verdad" de este tema.

(Sugerencia: tanto si es positiva como negativa tu valoración, una forma de justificarla es identificar aspectos que, en tu opinión, son imprescindibles para el aprendizaje "verdadero" de este asunto y describir la forma en que son tratados en la enseñanza habitual)

Cuadro 5.16 Estadillo para valorar C17p-a

Consideraremos a favor de nuestra hipótesis si:

1. Encuentran que la enseñanza habitual no favorece:

- la implicación, orientación y actitud de los alumnos (indicadores de apropiación)
- aprendizajes de alto nivel, de conocimientos ricos y estructurados
- la aproximación a las características de la producción de conocimientos científicos

2. Expresa que una enseñanza que favorezca el aprendizaje debería tener características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos genuinas de nuestra propuesta, como:

- Planteamiento de preguntas o problemas, que justifique la enseñanza
- Favorecer la implicación/motivación del alumno
- Alude positivamente a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y temas (planteamiento del problema, estrategia seguida, el índice, recapitulaciones, planteamiento de problemas abiertos, practicas como pequeñas investigaciones, resolución de problemas de lápiz y papel, ...)

No consideraremos a favor de nuestra hipótesis:

- Considera que la enseñanza habitual favorece un aprendizaje rico y estructurado.
- Supone ventajas como menos esfuerzo por parte del alumno.

Este cuestionario tiene sentido si va acompañado por sus valoraciones cuantitativas de la propuesta presentada en el curso, la estructura problematizada, y de la estructura habitual, lo que obtendremos mediante un cuestionario de valoración triple, cuestionario **C17p-b**.

Esperamos que la valoración dada a las afirmaciones que apoyan nuestra hipótesis sea superior a 7 en todos los casos

Como se verá, hemos incluido en la presentación un párrafo expresamente destinado a mejorar la validez del instrumento.

Esperamos encontrar diferencias estadísticamente significativas a favor de nuestra hipótesis independientemente del profesor que imparta el curso y del tema tratado. Es decir, que la valoración positiva no dependerá de una cuestión debida a la persona que lo imparte ni a la temática del mismo.

Cuestionario C17p-b para la valoración comparativa de la estructura habitual y la problematizada⁹.

<p>Acabas de participar en un curso sobre la enseñanza de un tema. Creemos que te encuentras en una situación adecuada para poder analizar la forma en que habitualmente se enseña y la forma en que se ha presentado en este curso. Estamos realizando un trabajo para mejorar la enseñanza de este tema, por lo que nos interesa mucho tu opinión justificada y te agradecemos que dediques parte de tu tiempo a contestar nuestras preguntas.</p> <p>No obstante, algunos psicólogos dicen que después de haber estado 20 o 30 horas en un curso, los asistentes casi siempre valoran bien el mismo porque han empleado su tiempo y/o han simpatizado con el profesor, y, por tanto, no suelen admitir que lo han perdido ni contrariar a una persona con la que simpatizan. Te pedimos que no te dejes llevar por estos “efectos”, si existen, y que pienses tus respuestas antes de darlas. El cuestionario es individual y anónimo</p>			
Valorar de 0 a 10	Importancia de este aspecto para que los alumnos aprendan	Grado en que es adecuadamente tratado en	
		la enseñanza habitual	los materiales utilizados en el curso
<ul style="list-style-type: none"> - Plantear al principio del tema su posible interés. - Elaborar el modelo a modo de tentativa y realizar predicciones sobre el mismo. - Organización y desarrollo del tema según una estructura problematizada. - Establecimiento de un hilo conductor que permita recapitular con sentido y valorar el avance. 			
<ul style="list-style-type: none"> - Otros aspectos sobre el tema específico (no se incluyen). 			

Hemos elaborado, pues, un meta-análisis y un total de 13 instrumentos y para los alumnos y 4 (cada uno de ellos con dos partes) para profesores. Dada la complejidad y variedad del diseño, presentamos, a continuación, una visión global de los distintos instrumentos.

⁹ Forma parte de un cuestionario más amplio

Visión general del diseño experimental

HIPÓTESIS: La organización y desarrollo de la enseñanza de la Física con una estructura problematizada, como la descrita anteriormente, tiene un efecto muy positivo sobre el aprendizaje y las actitudes de los estudiantes y genera expectativas positivas en los profesores que participan en cursos de formación donde se presentan y debaten temas estructurados de esta forma

- a) La enseñanza con una estructura problematizada produce mejores resultados en el aprendizaje conceptual, en los indicadores de apropiación y en las actitudes de los alumnos que la enseñanza habitual y
- b) Los profesores que participan en cursos de formación en los que se presentan y desarrollan temas estructurados como problemas –con las características descritas- adquieren expectativas muy positivas sobre las potencialidades de esta forma de estructurar la enseñanza

Diseño experimental para obtener evidencias de las mejoras que produce la enseñanza problematizada en el aprendizaje conceptual, indicadores de apropiación y actitudes de los alumnos

Instrumentos basados en la obtención de respuestas de los alumnos a cuestiones sobre contenidos específicos de la materia enseñada.	<p>Se pasará a grupos experimentales y de control</p> <ul style="list-style-type: none"> - Metaanálisis sobre aprendizaje conceptual - Cuestión abierta a mitad de clase (C1) - Cuestiones abiertas al final de un tema o curso (C2, C3, C4 y C5): al final de la Mecánica y al final de cualquier tema
Instrumentos basados en percepción de los alumnos sobre los indicadores de apropiación y la expresión de sus actitudes	<p>Se pasará a grupos experimentales y de control</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuestionarios para la valoración cuantitativa, respecto a norma, sobre indicadores de apropiación y actitudes (C6 y C7) - Cuestionario para la valoración justificada (C8) <p>Se pasará a grupos experimentales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuestionario de valoración directa de proposiciones sobre indicadores de apropiación, (C9 y C10) - Elección de la asignatura con mayor sensación de aprendizaje y características de la misma (C11) y cuestionario para la valoración comparativa entre la enseñanza problematizada y la habitual del grado en que las formas de estructurar los temas y cursos favorecen indicadores de apropiación (C12) - Cuestión abierta para detectar, recuerdo espontáneo de las características útiles e interesantes de la enseñanza recibida (C13)

<p>Diseño experimental para obtener evidencias de que los profesores en activo que participan en cursos de formación con una estructura problematizada adquieren expectativas positivas sobre las potencialidades de esta forma de estructurar la enseñanza, respecto a su influencia para mejorar:</p> <p>a) los indicadores de apropiación de los estudiantes (implicación/motivación, orientación y actitudes)</p> <p>b) el aprendizaje de la Física y Química, en favorecer aprendizajes de alto nivel, de conocimientos ricos y estructurados</p> <p>c) las propias actitudes de los profesores hacia la enseñanza.</p>	
Instrumentos basados en respuestas a preguntas abiertas	- Cuestiones abiertas para detectar de un modo indirecto si los profesores que participan en cursos de formación, perciben positivamente aspectos de la estructura problematizada (C14p-a¹⁰, C15p-a, C16p-a y C17p-a)
Instrumentos basados en la valoración comparativa con la enseñanza	- Cuestionarios para la valoración comparativa del grado en que las formas de estructurar los temas y cursos favorecen indicadores de apropiación y aspectos importantes del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias (profesores en cursos de corta duración y de larga duración) (C14p-b, C15p-b y C17p-b)
Instrumentos basados en una valoración sobre norma.	- Cuestionarios para la valoración cuantitativa, no comparativa, sobre la influencia de la estructura problematizada en distintos indicadores de apropiación y aspectos importantes del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias (C16p-b)

Pasaremos a presentar y analizar la evidencia obtenida al utilizar estos instrumentos.

¹⁰ Recordemos que aquellos cuestionarios que tienen la misma numeración se pasarán juntos, como por ejemplo C14p-a y C14p-b

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En los capítulos anteriores hemos fundamentado nuestra hipótesis y hemos presentado el diseño experimental para su contrastación. Las consecuencias contrastables de la hipótesis hacen referencia a que la estructura problematizada de los temas y los cursos producen mejores resultados en los indicadores de comprensión conceptual y de apropiación (orientación, implicación/motivación, recuerdo relevante y actitudes), ya que, genera expectativas positivas en los profesores de Física y Química en activo.

Para contrastar nuestra hipótesis se han diseñado 18 instrumentos distintos: un metaanálisis y 17 cuestionarios, para pasar a alumnos experimentales y de control y a los profesores asistentes a cursos de formación. A continuación, presentaremos y analizaremos los resultados obtenidos con los distintos.

Para facilitar la lectura, se presentarán los resultados agrupados en torno a cada una de las consecuencias contrastables. Cuando sea necesario establecer comparaciones entre los resultados obtenidos se estimará el nivel de significación de las diferencias que se observan entre los distintos grupos o respuestas mediante el parámetro estadístico t de *Student*. Consideraremos que existen diferencias significativas cuando el nivel de significación sea del 5% o menor, es decir, cuando la probabilidad de que las diferencias sean debidas al azar, en vez de a nuestro tratamiento, sea menor del 5%. En el metaanálisis hemos utilizado también el estadístico χ^2 . En los cuestionarios pasados a grupos experimentales y de control, cuando sea posible además de la t de *Student*, utilizaremos también el TE , *tamaño del efecto*. Dada la incipiente utilización del TE , hemos realizado una breve introducción de su significado en el capítulo 5 (página 228 y siguientes).

En nuestro caso, en algunos de los estudios realizados, no se incluyen grupos de control por lo que para el cálculo del tamaño del efecto se considerará el grupo de control el propio grupo antes de recibir la enseñanza (pre-instrucción y post-instrucción).

Para asegurarnos que se produce esta mejora y que ésta es debida a nuestra propuesta y no a otros factores, hemos decidido tomar como grupos experimentales a los grupos/clase asignados en sus respectivos centros a los profesores que participan en la investigación. El perfil del profesorado implicado en la misma, esta recogido en el diseño experimental. Distinguiremos, por tanto, dentro de los alumnos experimentales a los alumnos de los profesores investigadores, colaboradores y el resto será de control. Recordamos que el profesorado de los grupos de control ha participado en cursos de formación y están preocupados por la enseñanza. Más aún, ha aceptado amablemente que pasáramos los cuestionarios a sus alumnos en una clase habitual. El análisis comparativo permitirá que las conclusiones sean más fiables, ya que esperamos que los resultados sean mejores en los profesores investigadores y menores en los otros grupos, disminuyendo en función del grado de implicación. A la hora de presentar los datos, en algunas tablas agrupamos los resultados de los distintos grupos experimentales frente a los de control para facilitar el análisis.

Los resultados mayoritariamente se refieren a grupos de enseñanza secundaria, con el predominio de los alumnos de 4º ESO, aunque también hay pruebas que se han pasado a alumnos de otro curso como 3º ESO o 1º BCN (o su equivalente 3º de BUP). En el caso de los alumnos universitarios, estos corresponden a la facultad de Educación, alumnos de Magisterio.

Respecto al profesorado a quienes se les ha pasado cuestionarios son profesores de Física y Química en activo en centros de secundaria, casi en su totalidad de la enseñanza pública y con varios años de experiencia, que asisten a curso de formación.

Los instrumentos diseñados se han pasado a alumnos de diferentes grupos de distintos profesores y pertenecientes a centros de poblaciones grandes y

pequeñas, con lo que obtenemos un perfil del profesorado y alumnado muy variado, como comentamos en el capítulo anterior.

El tipo de centro a los que pertenecen los alumnos es, también, diverso. Hay centros pequeños, medianos y grandes, situados en zonas desfavorecidas o céntricos; en ocasiones es el único centro de la población, en otras pertenecen a centros ubicados en grandes poblaciones.

Hemos pasado las distintas pruebas a 3161 alumnos diferentes (a algunos se les ha pasado más de una prueba) de 41 profesores distintos, de los cuales 2 son los investigadores (N = 487 y N = 410), 6 colaboradores (N = 786) y un total de 33 de control (N = 1478). Todos los profesores han asistido a cursos y actividades de formación y cuando se lo hemos solicitado, nos han permitido entrar en sus clases. Además, en uno de los cuestionarios se ha pasado a 409 profesores en formación (alumnos del CAP) y a 196 profesores como control.

Además, en el meta-análisis que hemos realizado, donde se toman datos de otros trabajos de investigación, hemos tenido en cuenta los resultados obtenidos por, al menos, 784 alumnos experimentales de 7 profesores colaboradores, que desarrollaron su enseñanza con una estructura problematizada, y 635 alumnos de 9 profesores de control.

En la segunda parte del diseño se han pasado las distintas pruebas a 184 profesores asistentes a cursos de formación impartidos por los 2 investigadores y 4 colaboradores. En todos los cursos de formación, de distinta duración, los temas desarrollados tenían una estructura problematizada.

En el siguiente apartado se analizan los resultados obtenidos en el metaanálisis realizado.

6.1. Efecto de la estructura problematizada en el aprendizaje conceptual, apropiación de lo tratado y actitudes de los alumnos.

Una de las derivaciones de la hipótesis era considerar que los alumnos que participan en asignaturas en las que los temas y cursos se desarrollan según una estructura problematizada –con las características descritas- se apropian, dándole sentido, de lo que se está tratando en el tema y en el curso y pueden valorar su avance en los mismos, es decir, se sienten orientados.

Para ello diseñamos instrumentos para que **estudiantes de distintos cursos, grupos, formación, y de distintos profesores, que reciben instrucción problematizada**, muestren -de una manera coherente, con sentido- que se apropian de lo tratado o de lo que, se está tratando en clase. En el capítulo anterior (página 197) se especificaba qué considerábamos indicadores de apropiación.

En primer lugar expondremos los resultados del breve meta-análisis sobre el aprendizaje logrado en los temas con una estructura problematizada que ha sido objeto de investigaciones distintas. Posteriormente analizaremos los resultados obtenidos en los indicadores de apropiación y de mejora de las actitudes.

6.1.1 Resultados que muestran que los alumnos que reciben instrucción según la estructura problematizada propuesta, alcanzan mejores resultados en los indicadores comprensión conceptual.

Aunque el objetivo de este trabajo no es encontrar evidencias de los aprendizajes en un determinado tema que se obtienen después de poner en práctica nuestra propuesta, que duda cabe que éste es uno de los objetivos de toda investigación didáctica. Algunos miembros de nuestro equipo han elaborado propuestas didácticas sobre temas concretos (óptica, astronomía, trabajo y energía o el uso de la diferencial, entre otros), han estudiado las respuestas conseguidas por los alumnos (Osuna, 2004; Martínez Sebastiá, 2003; Doménech,

2000; López-Gay, 2002) a las distintas pruebas y han encontrado mejoras en los aprendizajes de los alumnos. En este apartado trataremos, de una manera muy resumida, de mostrar que los alumnos que reciben una enseñanza problematizada consiguen mejores indicadores de comprensión. Nos limitaremos únicamente a los más relevantes.

De todos los indicadores se han seleccionado aquellos que según el autor y/o el director de la investigación se consideran imprescindibles para una comprensión del tema tratado, y que, por tanto, deben estar presentes en toda persona que comprenda dicho tema.

Los datos para el resultado del metaanálisis se han obtenido de las distintas pruebas realizadas por los autores en sus investigaciones, tal como vienen recogidas en sus memorias de investigación o informes de avance. Hemos optado por realizar el metaanálisis de un modo sencillo y, al mismo tiempo, en condiciones desfavorables para nuestra hipótesis. Para ello, aunque la evidencia sobre los indicadores de comprensión provienen de múltiples instrumentos -que se detallan en 3 tesis doctorales y una memoria de avance- sólo hemos tenido en cuenta aquellos en que las diferencias, en los indicadores que nos interesan, entre el grupo experimental y de control era más pequeña. Eso significa que los resultados obtenidos en las respectivas investigaciones son mejores que los que hemos utilizado en el meta-análisis.

A continuación recordamos los indicadores de comprensión seleccionados en cada tema y las circunstancias en que se han obtenido los resultados.

Los resultados recogidos al analizar la selección de los indicadores de apropiación conceptual sobre el modelo elemental de visión tomados del trabajo desarrollado por Osuna (2004) se han obtenido al poner en práctica los materiales desarrollados para alumnos de 14-15 años, alumnos de 3º de ESO. Se ha llevado a cabo durante dos cursos académicos, por el profesor investigador y por dos profesores colaboradores. Los profesores de control son profesores que participan habitualmente en actividades de formación y que se ofrecían voluntariamente. Se ha comparado los resultados con los obtenidos por alumnos de su mismo nivel

educativo. Se trata de datos obtenidos de un informe de avance del desarrollo de la Tesis Doctoral de Osuna (2004)

1. Selección de indicadores de comprensión del modelo de Képler sobre como vemos. “La luz y la visión”

A.- Concebir la visión como un proceso en el que es necesario que llegue luz desde el objeto al ojo del observador, lo que requiere admitir que son fuentes secundarias de luz (si no son luminosos), y que, por tanto, los objetos que vemos emiten luz y son, por tanto, fuentes secundarias de luz.

B.- Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de la luz según el cual, las fuentes luminosas extensas (primarias o secundarias) se pueden idealizar como conjuntos de fuentes luminosas puntuales, desde cada fuente puntual la luz es emitida en todas las direcciones (esféricamente) y los rayos son conceptos ideales no visibles (ni la propia luz) que sólo representan cada una de las direcciones de propagación de la luz.

C.- Saber qué es una imagen óptica y cómo se forma. Lo que supone conocer que: el ojo es un instrumento óptico formador de imágenes en la retina que puede ser modelizado como un sistema formado por un lente convergente y una pantalla. La imagen retiniana aporta información sobre la forma, tamaño, color y lejanía (perspectiva) del objeto que vemos. En visión directa la imagen se obtiene cuando un haz divergente de luz emitido por cada punto del objeto (la fuente luminosa) entra en el ojo y converge en un punto de la retina. En visión indirecta, el haz de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa, después de incidir en el instrumento óptico (espejo, lente, superficie de separación de dos medios,...) es desviado hasta el ojo y la imagen que se obtiene en la retina provoca la sensación de ver una imagen en el punto de donde procedería la luz si no hubiera sido desviada (punto que puede ser localizado geométricamente por ser el origen directo del haz divergente de luz que entra en el ojo).

El segundo tema objeto del meta-análisis es el de “Las estaciones del año y el modelo Sol/Tierra”. El estudio que presentamos se centra en los resultados obtenidos con futuros profesores de Primaria, antes y después de la enseñanza del tema con una estructura problematizada (tomado de Martínez Sebastiá, 2003).

2. Selección de indicadores de comprensión conceptual del modelo Sol/Tierra: "Las estaciones del año y el modelo Sol/Tierra"

A.- Conocer con precisión la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento del Sol que podemos observar desde un lugar concreto. Ello supone saber organizar el horizonte local para seguir el movimiento del Sol y representar gráficamente la posición del Sol en el horizonte, identificar los días especiales o marcas naturales que permiten dividir el tiempo por sus características observacionales, identificar las simetrías en un día, y simetrías y ciclos a lo largo del año (de la duración en torno a 12 horas; del orto y ocaso respecto al Este/Oeste y de la culminación respecto a su valor en los días de equinoccio).

B.- Conocer el modelo esférico de la Tierra, supone reconocer que sobre la superficie de la Tierra la dirección arriba-abajo coincide con la dirección del radio de la Tierra, representar el plano del horizonte con los puntos cardinales en cualquier lugar de la Tierra y justificar que la diferencia de la altura observada del Sol en dos lugares de diferente latitud, en un mismo día, es un efecto de la curvatura de la Tierra.

C.- La comprensión del modelo Tierra/Sol supone conocer el movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol y de rotación, lo que supone justificar de forma operativa las observaciones siguientes: los cambios en la duración del día, en la posición de salida/puesta y en la altura del Sol en cada una de las estaciones y describir el movimiento observado del Sol respecto el horizonte como un efecto del movimiento de rotación de la Tierra.

El tercero de los temas que han sido incluidos en el meta-análisis realizado es el de "energía, trabajo y calor", objeto de la tesis Doctoral de José Luis Doménech (2000). El análisis se desarrolló con alumnos de 3º de BUP. En este trabajo se realizan dos tipos de comparaciones entre alumnos del mismo nivel experimentales y de control, otro estudio realizado a los mismos alumnos antes y después de la instrucción. Nos limitaremos a analizar la selección de indicadores realizada en el capítulo anterior.

3. Selección de los indicadores de comprensión conceptual de energía, trabajo y calor

A.- Disponer de un concepto cualitativo adecuado de energía, supone conocer que las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a las interacciones con otros sistemas o a las interacciones entre sus partes. La idea de energía puede asociarse cualitativamente a la configuración de los sistemas y a las interacciones que estas configuraciones permiten, de modo que las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a interacciones con otros sistemas o entre sus partes.

B - Las variaciones de energía de un sistema pueden ser debidas a la realización de trabajo o calor. Cualitativamente podemos concebir el trabajo como "el acto de transformar la materia aplicando fuerzas" y el calor aparece, en el marco de la teoría cinético-molecular, como una magnitud que engloba el conjunto del gran número de (micro)trabajos realizados a nivel sub-microscópico, como consecuencia de las (micro)fuerzas exteriores que actúan sobre las partículas del sistema. Las variaciones de energía de un sistema, ΔE , pueden ser debidas a realización de trabajo W y/o calor Q de acuerdo con la expresión $W+Q = \Delta E$

C.- La energía de un sistema aislado permanece constante, aunque pueden sufrir cambios de unas formas de energía en otros y/o transferencia de energía de unos sistemas a otros, lo que supone que, el establecimiento del principio de conservación exige tomar en consideración las interacciones a nivel sub-microscópico y las formas de energía "interna" asociadas. Para que se pueda experimentar cambios en un sistema aislado han de producirse necesariamente intercambios y transformaciones entre partes del sistema y la energía no puede estar distribuida, inicialmente, de manera uniforme (degradación). Utilizar, adecuadamente por su potencia y sencillez, el enfoque energético con preferencia al dinámico/ cinemático en los problemas mecánicos.

La propuesta realizada no se centra sólo en temas o cursos sino que también se han realizado estudios sobre conceptos "transversales" dentro de un tema en concreto. Este es el caso de la diferencial, concepto que se introducen en las clases de Física y Química de Bachillerato, en primer lugar en cinemática (en 1º de Bachillerato o 3º de BUP) y posteriormente se generaliza en otros temas. Los resultados que mostramos en el meta-análisis están tomados de los trabajos realizados por Rafael López-Gay (López-Gay, 2002; López-Gay et al., 2003). El

grupo experimental está formado por alumnos de 3º de BUP en los dos primeros indicadores y de COU, en el último. El grupo de control estuvo constituido en los tres casos por alumnos de COU, ya que habían tratado y utilizado el concepto tanto en Física como en Matemáticas de COU. En el último indicador seleccionado se ha comparado alumnos de COU tanto en el investigador como en los de control.

4 Selección de indicadores de comprensión sobre el concepto de diferencial en la enseñanza de la Física

A.- Saber cuándo y por qué se hace necesario su uso, es decir, cuál es el problema que hace insuficiente el cálculo ordinario; saber que es necesario recurrir a la diferencial cuando queremos hallar el Δy producido en un Δx y la relación entre ellos no es lineal

B.- Conocer la estrategia que utiliza el cálculo para resolver ese problema y comprender el sentido de los distintos pasos a seguir, en concreto: Saber explicar con precisión y sentido físico el significado de las expresiones diferenciales, reconocer sin ambigüedad que la diferencial puede tomar valores numéricos e interpretar el significado de los mismos, conocer y justificar la relación que existe entre la diferencial (dy) y la derivada y' : $y'=dy/dx$, y aceptar sin ambigüedad los razonamientos en que se utiliza esa relación

C.- Conocer el significado de la integral y saber justificar el denominado teorema fundamental, es decir, por qué la integral definida requiere el cálculo de *anti derivadas* o funciones primitivas

Una vez mostrada la selección de indicadores describimos a continuación cómo hemos realizado el metaanálisis. En primer lugar hemos revisado todos los instrumentos (cuestiones, problemas, dibujos, ...) utilizados por los investigadores para obtener evidencias sobre los indicadores seleccionados. Puesto que la finalidad del metaanálisis es mostrar que en todos los temas desarrollados con una instrucción problematizada se produce una mayor comprensión en los alumnos, simplemente hemos elegido los que aparecen en el **Cuadro 6.MA.**

En la **Tabla 6.MA.**, se encuentran los resultados sobre los distintos indicadores de comprensión del **Cuadro 6.MA.**

Cuadro 6.MA. Selección de los indicadores de comprensión conceptual que será objeto de meta-análisis.

Indicadores	Luz y visión	Estaciones del año. Sistema Sol/Tierra	Energía, trabajo y calor	Comprensión y utilización de la diferencial en Física
		Disponer de un modelo cualitativo de cómo vemos los objetos supone:	Disponer de una comprensión conceptual del modelo Sol/Tierra supone:	Disponer de una comprensión de energía, trabajo y calor supone:
A	Considerar que los objetos que vemos son emisores de luz	Conocer la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento del Sol	Saber cuándo y porqué es necesario usar la diferencial	Las transformaciones que experimenta un sistema son debidas a las interacciones con otros sistemas o entre sus partes
B	Considerar que los objetos extensos son un conjunto de fuentes puntuales	Dibujar correctamente los elementos necesarios del modelo Sol/Tierra	Comprender su significado físico y matemático	Considerar que calor y trabajo son formas de cambiar la energía de un sistema
C	Considerar que el ojo es un instrumento óptico formador de imágenes	Utilizar correctamente el modelo Sol/Tierra para explicar las diferencias en el movimiento local del Sol entre las estaciones.	Comprender y justificar el teorema fundamental (por qué la integral definida requiere el cálculo de anti-derivadas o primitivas)	Utilizar, adecuadamente por su potencia y sencillez, el enfoque energético con preferencia al dinámico/cinemático en los problemas mecánicos

Tabla 6.MA Diferencias encontradas en la selección de los indicadores de comprensión conceptual en los temas investigados.

Tema	Luz y visión			Estaciones del año. Sistema Sol/Tierra			Energía, trabajo y calor			Utilización de la diferencial en Física			χ^2 global		
	Grupos	Exper 3° ESO N= 131 % Sd	Control 3° ESO N = 183 % Sd	t	Exper. ¹¹ N= 179 % Sd	Control N= 194 % Sd	t	Exper. 3° BUP N=41 % Sd	Control 3° BUP N=37 % Sd	t	Exper. 3° BUP % Sd	Control COU % Sd		t	
A.-		70 (4)	22 (3)	9,6	80 (3)	24 (3)	13,2	95 (3)	51 (8)	51 (8)	N=112 63(5)	N= 117 16 (3)	8,1	1110	
B.-		55 (4)	6 (2)	11,0	90 (2)	9 (2)	28,6	74 (7)	3 (3)	9,3	N=95 39 (5)	N= 52 0 (-)			
C.		44 (4)	3 (1)	9,9	92 (2)	9(2)	29,3	90 (5)	11 (5)	11,2	N=15 ¹² 80(11)	N=56 0 (-)			
χ^2		197			620			109			117				

(*) No se valoró en este grupo

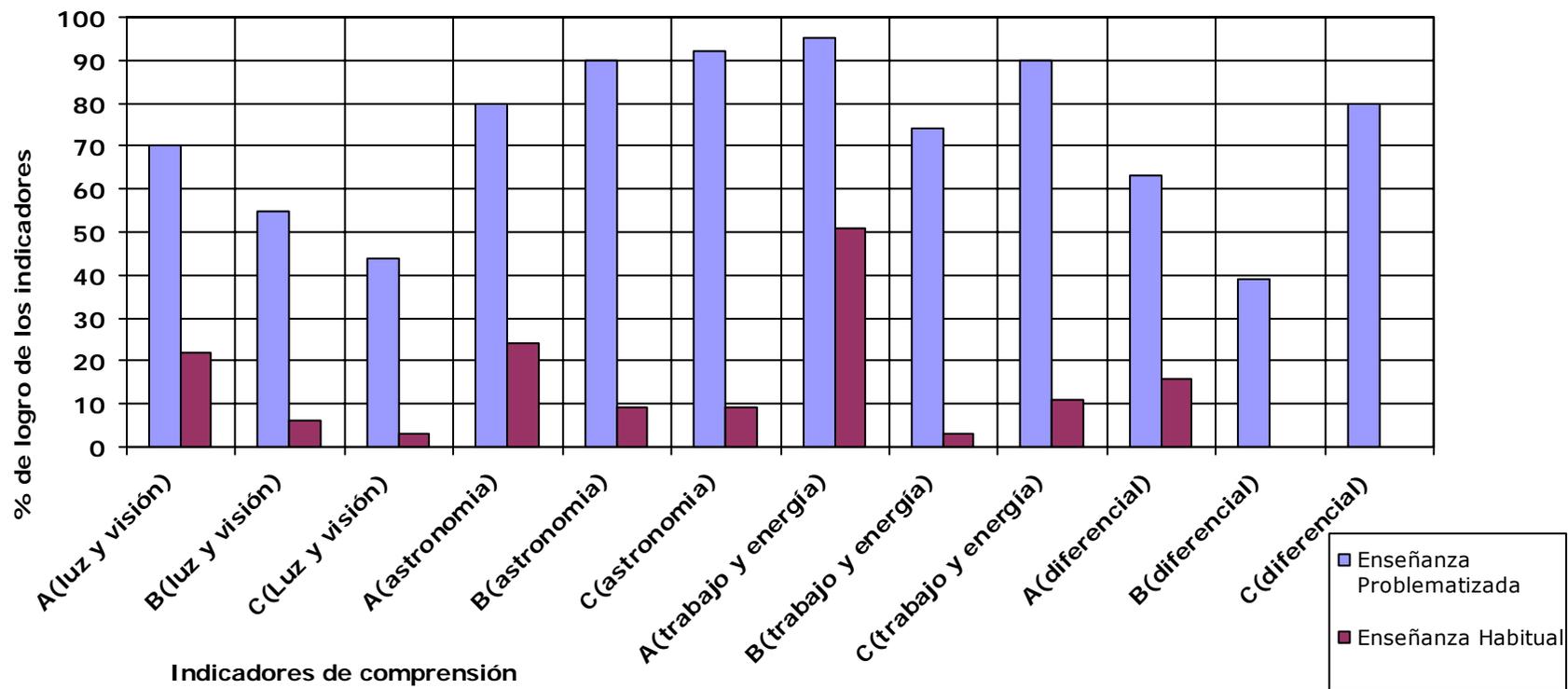
(**)En todos los casos el valor de t y el valor de χ^2 nos indican que hay diferencias significativas entre los grupos experimentales y de control con un valor de $\alpha < 0,001$

¹¹ El grupo de control está formado por los mismos alumnos antes de la instrucción

¹² En este caso los alumnos experimentales también son de COU

Gráfica 6.MA de los indicadores de comprensión en el metaanálisis realizado

Influencia de la estructura en los indicadores de comprensión



En la gráfica global, **gráfico 6MA**, se han representado los indicadores seleccionados y las respuestas de los alumnos, del estudio realizado por los autores de los trabajos, que son más desfavorables para nuestra hipótesis. Se puede apreciar claramente las diferencias obtenidas por los alumnos experimentales y los alumnos de control.

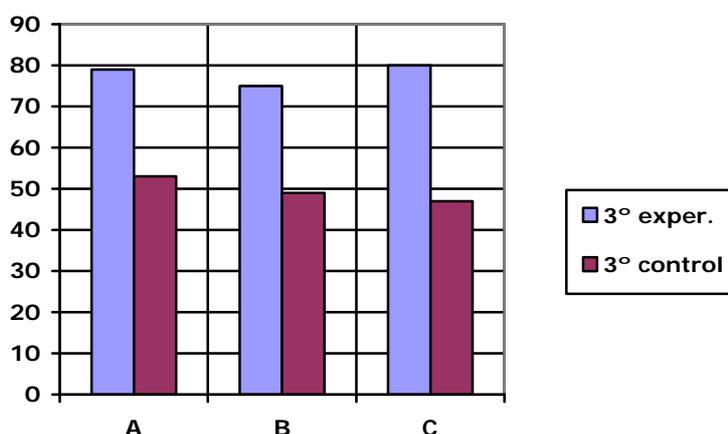
En todos los casos el valor existen diferencias significativas en un 95 %, $\alpha \leq 0,05$ lo que significa que la probabilidad de que los resultados se deban al azar y no al tratamiento es menor del 0,5 % en el peor de los casos entre los alumnos experimentales y los de control (en algunos casos los grupos de control pertenecen a un nivel superior a los experimentales).

El análisis detallado de cada tema ilustra estas diferencias en aspectos básicos. Por ejemplo, en el tema sobre la luz y la visión, un 70 % de los alumnos experimentales (de 3º de ESO) manifiestan (en sus dibujos y/o explicaciones) que los objetos que vemos son emisores de luz frente a sólo la cuarta parte (el 22%) de los grupos de control.

Las diferencias en las respuestas aumentan en las cuestiones que se refieren a como vemos los objetos extensos (a través de dibujos y/o explicaciones) como un conjunto de fuentes puntuales, siendo los porcentajes del 55% para los alumnos experimentales y de solo el 6 % de los de control.

En cuanto a considerar que el ojo es un instrumento óptico que nos permite formar las imágenes es necesario resaltar que mientras el 44 % de los alumnos que siguen los materiales propuestos lo incluyen en sus

Gráfico 6.MA.1
% respuestas correctas sobre la vision



respuestas y dibujos, sólo lo incluyen el 3 % en los grupos de control, después de haber dado el tema. Si tenemos en cuenta que en este curso se trata la formación de imágenes y los instrumentos ópticos, es bastante significativo que más de la mitad de los alumnos inmediatamente después de la enseñanza no tengan en cuenta el papel del ojo como instrumento óptico en la formación de imágenes. En la gráfica adjunta, **6MA1**, se puede visualizar los resultados de los indicadores seleccionados.

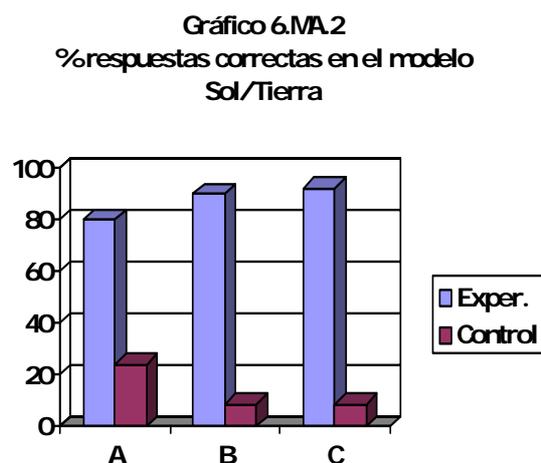
Los indicadores seleccionados esenciales para comprender cómo vemos, muestran globalmente el aprendizaje alcanzado por los alumnos de los grupos experimentales frente a los de control.

Respecto a los resultados obtenidos en los indicadores de comprensión conceptual del Sistema Sol/Tierra en alumnos de Magisterio antes y después de la enseñanza con una estructura problematizada, como podemos ver en la **tabla 6.MA**, el 80 % conocen la existencia de ciclos y simetrías en el movimiento del Sol después de dar el tema frente al 24 % antes de la instrucción.

Puesto que toda comprensión de un modelo supone poder elaborar un producto y aplicarlo a situaciones de interés, el manejo funcional del modelo Sol/Tierra antes y después de la instrucción con una estructura problematizada, se puede ver reflejado cuando los alumnos se enfrentan a la necesidad de dibujar correctamente los elementos necesarios del mismo: vista lateral o superior de la Tierra, línea de sombra, luz solar en haces paralelos, plano del horizonte y vertical del lugar (un 90 % de los alumnos, después de la instrucción, los dibujan correctamente frente a sólo el 9 % que lo realizaba antes de la misma).

En tercer lugar, sólo el 9 % de los alumnos de control (antes de la instrucción) utilizan correctamente el modelo Sol/Tierra para explicar las diferencias en algún aspecto del movimiento del Sol entre días singulares (como explicar la diferencia en la duración del día en el solsticio de invierno y de verano para un mismo lugar) a pesar de que se ha estudiado en múltiples ocasiones en la enseñanza previa, frente al 92 % (casi todos) en los grupos experimentales (después de la instrucción).

En todos los casos hemos elegido las diferencias más desfavorables para nuestra hipótesis. En la gráfica adjunta, **6.MA.2**, se han representado los valores de los indicadores seleccionados en el modelo Tierra/Sol de la **tabla 6.MA**. Como se puede apreciar en la misma, se ven claras diferencias entre las respuestas de los grupos de control y los experimentales

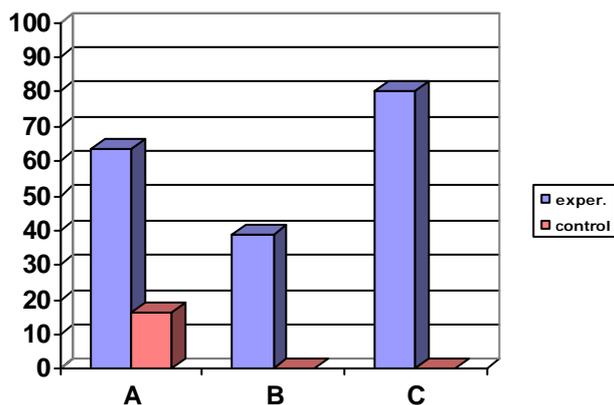


El tercer estudio realizado en el metaanálisis se refiere al uso del concepto de la diferencial en la clase de Física, en secundaria post-obligatoria (3º BUP y COU)

En todas las respuestas existen diferencias significativas favorables a los grupos experimentales. Las diferencias son claras a favor de los grupos experimentales entre los porcentajes de respuestas correctas sobre el significado físico de las expresiones diferenciales y los valores numéricos concretos que éstas pueden tomar (ver tabla **6MA** página 271). Estas son mayores en los cursos de COU, entre los alumnos del profesor investigador y los de control. Hay que precisar que algunas preguntas que se pasaron a alumnos de 3º BUP estaban referidas a conceptos que se dan en 2º de Bachillerato o COU (como la interpretación de la desintegración nuclear) y que la misma pregunta se pasó a todos los grupos de control de COU de Física al final del curso y sus respuestas se comparan con las de los alumnos experimentales de 3º de BUP, que no han dado estos contenidos.

La gráfica adjunta muestra claramente las diferencias en los indicadores seleccionados, en donde hemos representado los resultados más desfavorables para nuestra hipótesis.

Gráfica 6.MA.3
% respuestas correctas en el concepto de diferencial

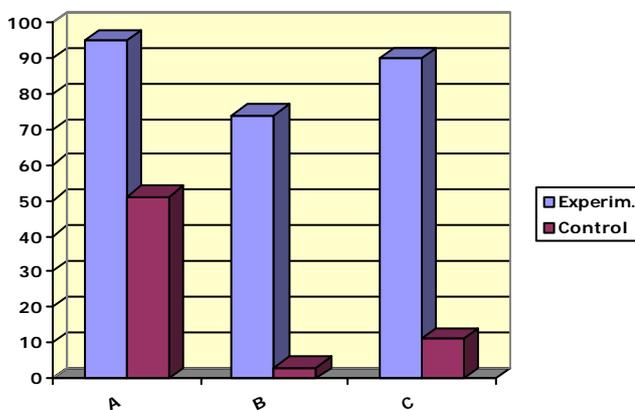


Interpretamos que esas diferencias son una muestra de la mejora que el uso de la propuesta llevada a cabo en las clases produce una mayor comprensión de las causas que obligan a utilizar la diferencial en distintas situaciones físicas concretas.

El último estudio realizado se refiere a los conceptos de energía, trabajo y calor, realizado con un grupo/clase experimental y revela también diferencias significativas entre este grupo y los de control. En el **cuadro 6.MA** (página 270) se encuentran los indicadores de comprensión (A, B, C) y en **tabla 6.MA** (pp. 271) se recogen los resultados obtenidos en los distintos indicadores seleccionados.

Como podemos ver en la tabla, no sólo se consigue un mejor aprendizaje desde un punto de vista conceptual sino que los alumnos usan funcionalmente los mismos al resolver los problemas de lápiz y papel (utilizando los conceptos de trabajo y energía en lugar de sólo los conceptos de cinemática y dinámica). En este caso, el 95 % de los alumnos

Gráfica 6.MA.4
% de respuestas correctas sobre energía, trabajo y calor



experimentales utilizan correctamente el concepto de energía frente al 51 % de los experimentales. Un 74 % de los alumnos experimentales, consideran los conceptos de trabajo y calor como formas de intercambiar la energía de un sistema frente a solo el 3 % de los de control. Un 90 % utilizan los conocimientos adquiridos para resolver problemas, frente a un 11 % de los alumnos de control.

En todos los casos los resultados obtenidos en indicadores esenciales de comprensión conceptual por los alumnos experimentales se separan significativamente de los de control, con valores muy grandes de Chi cuadrado tanto de cada uno de los temas como de su conjunto.

De todos los resultados podemos concluir que los alumnos que siguen una enseñanza problematizada alcanzan un nivel en los indicadores de comprensión de los distintos temas analizados mucho mayores que los grupos que han seguido una enseñanza habitual, independientemente del tema tratado y los niveles educativos.

6.1.2. Efectos de la estructura problematizada en la apropiación de lo tratado y las actitudes de los alumnos.

Recordemos que habíamos diseñado instrumentos para obtener evidencias sobre indicadores de apropiación y actitudes de los alumnos de dos clases:

- a partir de sus respuestas a preguntas sobre aspectos de los temas tratados (durante un tema y al final de grandes síntesis) y
- a partir de su percepción sobre esos indicadores expresada mediante valoración cuantitativa (respecto a una norma y comparando con la organización habitual de la enseñanza)

Como expusimos anteriormente, algunos de los instrumentos elaborados se han pasado a alumnos experimentales y de control y otros a sólo alumnos de grupos experimentales.

En primer lugar presentamos los resultados sobre los indicadores de apropiación inferidos del análisis de las respuestas a preguntas abiertas sobre el contenido tratado. En la operativización de la hipótesis, en la página 197, se encuentra la definición operativa de lo que hemos llamado apropiación.

Recordemos de un modo resumido, que se manifiesta apropiación cuando se expresan ideas que muestran orientación, implicación y/o motivación o recuerdo relevante.

Para obtener evidencias sobre la apropiación en las producciones de los propios alumnos hemos valorado sus respuestas a los cuestionarios C1 (a mitad de un tema), C2 (al final de un tema), C3 y C4 (al final de grandes síntesis: la Mecánica y la Estructura de las Sustancias), y el C5 (después de haber estudiado la Mecánica).

Presentaremos a continuación los resultados obtenidos sobre los indicadores de apropiación a mitad de un tema.

6.1.2.a) Efectos de la estructura problematizada en la apropiación a mitad de un tema.

Para facilitar la interpretación recordamos brevemente el cuestionario C1 y el estadillo utilizado para su análisis.

Cuestionario C1 (a mitad de un tema)

- | |
|---|
| <p>a) Indica el nombre del tema que estas "dando" actualmente en Física y Química.</p> <p>b) Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema.(O, RR)</p> <p>c) Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase. (O, I/M)</p> <p>d) ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (O)</p> |
|---|

La red de análisis final es la siguiente:

Estadillo para la valoración de las respuestas al cuestionario C1:

<p>1b. (Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema)</p> <p><i>¿El texto escrito indica orientación o recuerdo relevante? ¿expresa una probable comprensión de ideas relevantes?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Expresa el interés de lo que está haciendo o ha hecho de manera cualitativa, global • Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan • Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales • Se limita a definiciones, fórmulas, palabras sueltas, frases fragmentarias o vagas, Conceptos sueltos ... • No sé. Prácticamente en blanco. En blanco
<p>1c. (Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase)</p> <p><i>¿Conoce el interés o la finalidad del tema?, ¿expresa implicación/motivación?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Expresa actitud positiva hacia lo que está haciendo o ha hecho (atractivo, interesante, ...) • Expresan comprensible, cualitativamente, qué interés puede tener, por qué o para qué se está estudiando dicho tema, incluyendo posibles explicaciones, ejemplos... • Expresa sensación de avance, de aprendizaje • Actitud negativa expresamente • Incluye palabras, ideas, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadoras –muy probablemente- de un aprendizaje repetitivo • No sé. Prácticamente en blanco. En blanco
<p>1d. (¿Qué se trata de averiguar en este tema?)</p> <p><i>¿Muestra orientación? ¿Expresa metas globales que den sentido a su actividad en el aula, más allá de los "detalles"?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativa y coherentemente sobre lo que se está haciendo o se hizo • Nombra conceptos, formulas, sin frases que expresen ideas cualitativas Se refiere a definiciones operativas, a fórmulas, escribe frases inconexas, preguntas puntuales o retóricas ... • En blanco o prácticamente en blanco
<p>Valoración global de la calidad del texto de las cuestiones 1b, 1c y 1d</p> <p><i>¿El texto completo evidencia apropiación: implicación/motivación, orientación, recuerdo relevante?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • N° ideas indicadoras de apropiación • N° ideas que podría indicar aprendizaje repetitivo (frases inconexas, sólo se refieren a definiciones, fórmulas,..) • Prácticamente en blanco. Palabras sueltas. • Otras categorías • N° ideas, frases total

Donde hemos indicado O, RR, I/M (Orientación; Recuerdo relevante; Implicación/ Motivación), en los apartados en los que esperábamos encontrar las ideas más relacionadas con dichos indicadores. Ya hemos descrito con detalle (página 216 y siguientes) cómo hemos procedido al análisis y categorización de las respuestas de los alumnos a dichos cuestionarios: partiendo de una primera red de análisis, la investigadora, el director de este trabajo y un profesor colaborador, valoraron independientemente las respuestas de 20 alumnos (pertenecientes a distintos grupos y ordenados al azar). Realizaron una puesta en común hasta llegar a un consenso en la valoración de los 20, lo que supuso clarificar y añadir aspectos a la primera red de análisis. Con la nueva red de análisis, se valoraron otras 20 respuestas, y la coincidencia entre los tres correctores fue del 95 %. El resto de cuestionarios fueron valorados por la profesora investigadora.

El **Cuestionario C1**, se ha pasado a 56 alumnos de 3 grupos de la profesora investigadora de 3º ESO y 4º de ESO; a 38 alumnos de 3 grupos de un profesor colaborador, de 3º y 4º de ESO; y a un total de 176 alumnos de 10 grupos de 6 profesores de control, de 3º de ESO, 4º de ESO y 1º de BCN (en este caso, 3 de los grupos de control son de 1º de Bachillerato de Ciencias, una situación desfavorable para nuestra hipótesis).

Para asegurarnos que se había avanzado lo suficiente en el tema, se pasó, después de la introducción de los conceptos fundamentales o del primer apartado del mismo. Las respuestas se obtuvieron en los meses de abril y mayo, sin avisar y sin límite de tiempo. Aunque esperábamos que las ideas sobre los distintos indicadores aparecieran en los apartados señalados en el cuestionario, algunos alumnos contestaron lo que esperábamos en un apartado en otro distinto. No obstante, cuando una idea era categorizada como indicadora de apropiación, se contabilizaba como tal, independientemente del apartado en que hubiera sido encontrada.

Antes de presentar los resultados, consideramos conveniente poner ejemplos de las valoraciones realizadas. Aunque mostramos fragmentos, es necesario resaltar que en primer lugar se procedió a una lectura total del texto que, en

algunos casos, permitió a los tres correctores decidir sobre la valoración de alguna idea que hubiera planteado dudas si hubiera estado aislada.

Los siguientes fragmentos **no** han sido considerados como indicadores de apropiación:

Fragmento nº 1 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Que dos cargas + (positiva) y - (negativa) se atraen y si son las dos negativas se repelen" (1) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación. Se ha tenido en cuenta la totalidad del texto escrito: prácticamente en blanco.

Fragmento nº 2 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Tipo de fuerzas, aceleración" (1) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (lista de nombres, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 3 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Llei conservació de la massa, llei d'Avogadro, mols ..." (3) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (lista de nombres, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 4 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Hacer gráficas" (1) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (muy genérico, lista de nombres, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 5 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Los tipos de movimientos (1) (apartado d)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (muy genérico, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 6 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Resolver problemas, decir su fórmula" (2) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (muy genérico, lista de nombres, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 7 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Hacer experimentos" (1) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (muy genérico lista de nombres, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 8 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Para explicar el comportamiento de las cosas (1) (apartado b)

Valoración según red de análisis: No se considera una idea indicadora de apropiación (muy genérico, sin frases que expresen ideas cualitativas).

Fragmento nº 9 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Para aprobar la asignatura y si en un futuro me hace falta" (2) (apartado c)

Valoración según red de análisis: no se ha considerado indicadora de implicación/ motivación; aunque podría ser considerada como negativa

Fragmento nº 10 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Un interès molt gran, però per a la gent que li agrada i tinga ganes de estudiar" (3) (apartado c)

Valoración según red de análisis: no se ha considerado indicadora de implicación/ motivación; aunque podría ser considerada como negativa

Fragmento nº 11 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "Es un rollo" (1) (apartado c)

Valoración según red de análisis: Actitud negativa explícita

Fragmento nº 12 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: "No te cap d'interès (1) (apartado c)

Valoración según red de análisis: Actitud negativa explícita

En cambio, siempre que una idea iba acompañada de esquemas o dibujos, aunque el texto escrito planteara dudas, se ha considerado como indicadora de apropiación (**Recuerdo relevante**). A continuación presentamos fragmentos que contienen indicadores de apropiación, según el criterio de los tres correctores.

Fragmento nº 13 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Cómo saber caracterizar el movimiento y analizarlo dependiendo de la fuerza que tu realices sobre él (1) y como lograr que un cuerpo lleve el movimiento que nosotros queremos (2). (apartado b)

Valoración según red de análisis: Contestado en el apartado expresa recuerdo relevante, 2 ideas importantes expresadas cualitativa y coherentemente..

Fragmento nº 14 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Para saber el tipo de movimiento que tienen todas las cosas (1), como se manejan los astronautas en el espacio (2),...(apartado c)

Valoración según red de análisis: 2 ideas indicadoras de orientación (expresa el interés de lo que está haciendo mediante una idea cualitativa y global (1) y un problema práctico (2)).

Fragmento nº 15 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Una idea que he aprendido bien (1) es que existen dos tipos de sustancias puras, las simples y las compuestas (2). (apartado b)

Valoración según red de análisis: Muestra I/M (sensación de aprendizaje: (1)) y recuerdo relevante (2).

Fragmento nº 16 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: El tema trata de cómo un cuerpo puede conseguir un movimiento, qué hace falta para que se dé un movimiento (1). Nosotros sabíamos hasta ahora diferenciar un movimiento rectilíneo de uno curvilíneo (2); ahora vamos a aprender (3) cómo conseguir un movimiento u otro, que se mantenga. Para ello estamos viendo los principios de la Dinámica (4). (4º ESO) (apartado d)

Valoración según red de análisis: (1) Orientación. Expresa interés de una manera cualitativa, global; (2) Recuerdo relevante: idea importante expresada cualitativa y coherentemente; (1)-(2)-(3) Implicación/motivación: expresa sensación de avance, de aprendizaje; (4) Orientación: enmarca lo que está haciendo dentro de un plan.

Fragmento nº 17 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Un cuerpo no puede acelerarse a sí mismo (1). Un MRU no puede ser distinguido del reposo (2) (apartado b)

Valoración según red de análisis: Muestra dos ideas importantes expresadas cualitativa y coherentemente (Recuerdo relevante).

Fragmento nº 18 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Podría calcular la fuerza que hace un objeto a otro (1), calcular la energía cinética y potencial gravitatoria de un cuerpo en movimiento (2). (apartado b)

Valoración según red de análisis: Expresa el interés que tiene lo que está haciendo (orientación).

Fragmento nº 19 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Vamos a aprender a realizar que un móvil haga el movimiento que nosotros queramos (1), y esto nos servirá para predecir y poder aplicarlo a la vida real (2). (apartado e)

Valoración según red de análisis: Expresa orientación. (1) interés de lo que está haciendo de manera cualitativa, global. (1)-(2) Enmarca lo que está haciendo dentro de una finalidad general. Expresa interés mediante aplicaciones o problemas prácticos generales

Fragmento nº 20 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: De cómo hacer que un movimiento sea de un tipo o de otro, diferenciarlos (1) (apartado e)

Valoración según red de análisis: Expresa orientación, enmarca lo que hace dentro de una finalidad general.

Fragmento nº 21 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Ver porque la Luna, siguiendo un MCU y no habiendo rozamiento en el espacio, no cae (4º ESO) (apartado d)

Valoración según red de análisis: Orientación: enmarca lo que está haciendo dentro de una finalidad más general.

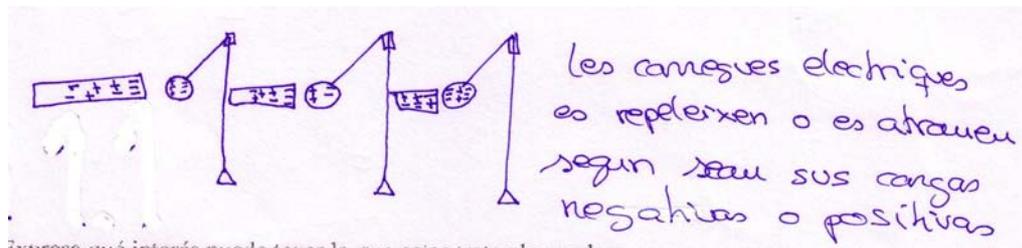
Fragmento nº 22 (En mitad de un tema).

Texto del alumno: Saber distinguir un movimiento rectilíneo de uno circular a través de las magnitudes que hemos introducido hace poco (1), los vectores. Y así poder aplicarlo al movimiento de la Luna (2). (apartado d)

Valoración según red de análisis: (1) – (2) Muestra orientación, enmarca lo que está haciendo dentro de un plan, de una finalidad más general. Expresa interés de lo que está haciendo de una manera cualitativa, global

Fragmento nº 23 (En mitad de un tema).

Texto del alumno (apartado b)



Valoración según red de análisis: (1) el dibujo muestra dos ideas cualitativas, recuerdo relevante– (2) Sin embargo la información se interpreta como un aprendizaje repetitivo

En la **Tabla 6.C1 (a)** se presentan los resultados obtenidos al categorizar las respuestas de los estudiantes y en la **6.C1 (b)** la valoración cuantitativa de la calidad del texto.

TABLA 6.C1. (a) Efecto de la estructura problematizada en los indicadores de apropiación (orientación, recuerdo relevante, e implicación/ motivación) a mitad de un tema

Porcentaje de alumnos que al ser preguntados a mitad de un tema muestran indicadores de apropiación: (C1)				
	Investig.	Colabor.	Total Ex.	Control
b) Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema. (O, RR)				
c) Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase. (O, I/M)	N = 56	N = 38	N = 94	N = 176
d) ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (O)	% (Sd)	% (Sd)	% (Sd)	% (Sd)
Recuerdo relevante b)				
• Ideas importantes expresadas cualitativa y coherentemente sobre lo que se está haciendo	94,6 (3,0)	52,6 (8,1)	78,7 (4,2)	33,5 (3,6)
• Sólo nombra conceptos, formulas, sin frases que expresen ideas cualitativas	5,4(3,0)	47,4(8,1)	22,3 (4,2)	58,0 (3,7)
• En blanco o casi	0 (-)	0 (-)	0 (-)	8,5 (2,1)
Orientación c) y d)				
• Expresa el interés de lo que está haciendo de manera cualitativa, global	91,1 (3,8)	71,1 (7,4)	83,0 (3,9)	28,4 (3,4)
• Enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan	25,0 (5,8)	23,7 (6,9)	24,5 (4,4)	4,0 (1,5)
• Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales	44,5 (6,6)	34,2 (7,7)	40,4 (5,1)	13,1 (2,5)
• Solo escribe conceptos sueltos, frases repetitivas	12,5(4,4)	0,0 (0,0)	7,4 (2,7)	29,5 (3,4)
• En blanco o casi	0 (-)	0 (-)	0 (-)	25,0 (3,3)
Implicación/ motivación (no solicitada expresamente, se suele encontrar en c)				
• Sensación de avance, de aprendizaje	42,9 (6,6)	5,3 (3,6)	27,7 (4,6)	0,0 (-)
• Expresa actitud positiva hacia lo que está haciendo o ha hecho (atractivo, interesante...)	26,8 (5,9)	5,3 (3,6)	18,1 (4,0)	3,4 (1.4)
• Actitud negativa explícita	0,0 (-)	0,0 (-)	0,0 (-)	9,7 (2,2)

Al aplicar la t de Student a las diferencias entre los grupos experimentales y de control, se encuentra que son estadísticamente significativas a favor de los grupos experimentales (con un nivel $\alpha < 0,01$) en todos los indicadores de apropiación que se muestran en la **tabla 6.2 (a)**.

Los resultados se comentan por sí solos: el porcentaje de alumnos experimentales que expresan un recuerdo relevante (78'7 %) es más del doble que el de los grupos de control (33'5 %). El 66'5 % de los alumnos de control sólo

expresaron "listas de nombres", "conceptos sueltos", "fórmulas" (el 58 %) o dejaron en blanco (8'5 %) el apartado donde se les pedía, a mitad de un tema, que "escribiera algunas ideas que hubieran comprendido bien hasta ese momento".

Al ser preguntados sobre "qué interés puede tener lo que está tratando" y "qué se trata de averiguar en este tema", la desorientación de los grupos de control se hace claramente evidente: más de la mitad de los encuestados deja ambas cuestiones en blanco (25 %) o escribe conceptos sueltos o frases que no contienen ideas expresadas cualitativamente (29'5 %), frente a sólo un 7'4 % de los alumnos experimentales. El 83 % de los alumnos experimentales expresa ideas cualitativas, globalizadoras, sobre el interés que tiene lo que está haciendo, y la cuarta parte enmarca lo que está haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, o dentro de un plan. Para nosotros se trata de un indicador inequívoco de la influencia positiva que ejerce la estructura problematizada: la gran mayoría de los alumnos tratados son conscientes de qué es lo que se busca, de cuál es el interés que puede tener lo que están haciendo. Una cuarta parte de los alumnos, muestran evidencia, además, de que se han apropiado de la estrategia que se va a seguir para avanzar en la cuestión planteada.

Debe tenerse en cuenta, además, que el 30 % de los grupos de control eran de primer curso del Bachillerato de Ciencias, mientras que los experimentales eran todos de 3º y 4º de ESO. Pese a ello, en ningún caso se encontró una expresión espontánea (en ninguna cuestión se les preguntó sobre ello) de actitud negativa en los alumnos experimentales y, en cambio, casi un 10 % de los de control incluyeron frases que expresaban dicha actitud negativa. Esta situación contrasta mucho con los resultados de la autora: un 42'9 % de sus alumnos expresó sensación personal de avance, de aprendizaje; y un 26'8 % escribió expresiones espontáneas sobre lo atractivo o interesante que le parecía lo que estaban haciendo.

Dentro de los grupos experimentales y de control, las respuestas de mayor calidad se encuentran, por término medio, en los cursos superiores. No obstante,

deseamos completar cualitativamente los resultados con extractos de respuestas de distintos alumnos de 3º de ESO de los grupos experimentales de la autora:

Todos los cuerpos pueden electrizarse: bien por frotamiento, por contacto o por inducción. Dos cargas de distinto signo se atraen, dos de distinto signo se repelen. Para cargar un cuerpo por contacto tenemos que tocar con un cuerpo electrizado otro neutro. (3º ESO; respuesta al apartado b)

Queríamos estudiar el comportamiento de la materia. Aprender que todos los cuerpos de una forma o de otra se pueden electrizar. (3º ESO, apartado c)

Todos los materiales se cargan unos mas que otros. Se pueden cargar por frotamiento, contacto e inducción. Se intercambian partículas de unos materiales a otros. Las partículas del mismo signo se repelen, de distinto signo se atraen y los neutros no ocurre nada. (3º ESO, apartado b)

¿La carga eléctrica también es común a toda la materia? ¿Cómo puede pasar carga eléctrica de un cuerpo electrizado a otro neutro? (3º ESO; respuesta al apartado d): ¿Qué se trata de averiguar en este tema?)

¿Todos los materiales tienen el mismo número de partículas negativas como positivas o qué materiales tienen más? ¿Qué materiales se cargan antes que otros? (3º ESO, apartado d)

¿Cómo se electrizan los materiales, y de qué forma? Que todo se puede electrizar de una forma o de otra. Que hay polos positivos y negativos y que si son iguales aparece la fuerza y se repelen y si son distintos se atraen (3º ESO, apartado d)

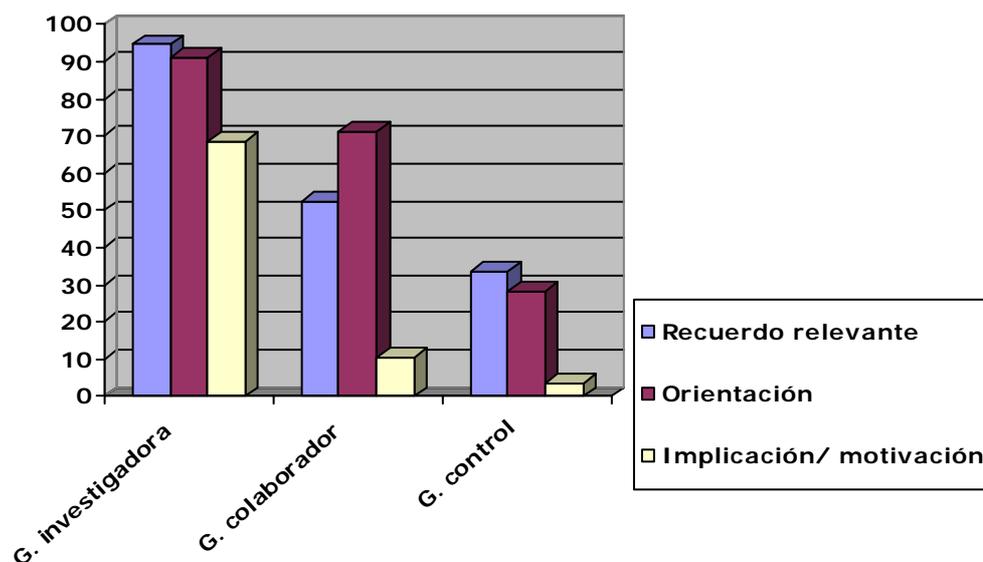
Son además capaces de extrapolar los conocimientos y aplicarlos a la vida cotidiana poniendo distintos **ejemplos**.

Estudiando este tema podremos explicar fenómenos cotidianos que ocurren todos los días como que al peinarte se electrice el pelo, que al abrir un dossier la hoja de plástico que hay en la tapa se quede pegada a la siguiente y también, por ejemplo, que al apagar el televisor la pantalla atraiga materiales como puede ser el polvo o el pelo de una persona (si lo acercas a la pantalla) (3º ESO, apartado c)

Poder entender mejor el comportamiento de la materia. Saber lo que ocurre en la vida cotidiana con todos estos fenómenos (3º ESO, apartado d)

En el gráfico siguiente se resumen estos resultados.

Gráfico 6.C1: % de alumnos que muestran apropiación en la mitad de un tema



Estas grandes diferencias en los indicadores de apropiación tienen su reflejo, claro está, en la valoración cuantitativa de la calidad del texto, que se muestra en la **tabla 6.C1. (b)**.

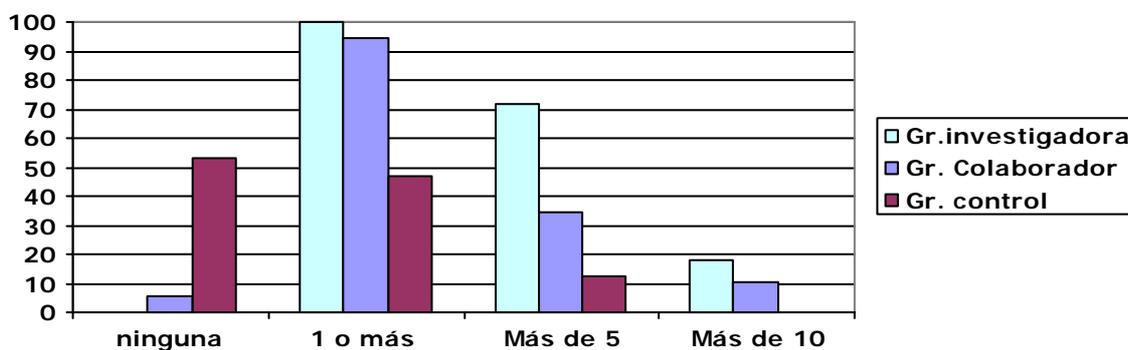
Como vemos en la tabla, el número medio de frases-idea por alumno es tres veces mayor en los grupos experimentales que en los de control. Más de la mitad de los alumnos de control (53'4 %) no ha escrito ni una idea indicadora de apropiación, frente a sólo un 2'7 % de los alumnos que han recibido una instrucción problematizada. El 56'4 % de los alumnos experimentales (un 71'5 % de los de la investigadora y un 34'3 % de los del profesor colaborador) ha escrito 6 o más ideas que expresaban apropiación, lo que sólo ocurre en un 12'5 % de los alumnos de control, a pesar de que tres de los diez grupos eran de primero de Bachillerato de Ciencias.

TABLA 6.C1. (b) Efectos de la estructura problematizada en la apropiación a mitad de un tema (Análisis cuantitativo de la calidad del texto).

	Investig.	Colabor.	Total Ex.	Control
Análisis cuantitativo del texto y grado de verbalización a mitad de un tema (C1)	N = 56	N = 38	N = 94	N = 176
	% (Sd)	% (Sd)	% (Sd)	% (Sd)
0 frases, blanco o casi	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	6'8 (1'9)
% de alumnos con frases-idea indicadoras de apropiación				
Ninguna	0,0 (--)	5'3 (3'6)	2'7 (1'7)	53'4 (3'8)
1 o más	100 (--)	94'7 (3'6)	97'3 (1'7)	46'6 (3'8)
6 o más	71'5 (6'0)	34'3 (7'7)	56'4 (5'1)	12'5 (2'5)
10 o más	17'9 (5'1)	10'6 (5'0)	14'9 (3'7)	0'0 (--)
Más de 20 frases	1'8 (1'8)	5'3 (3'6)	3'2 (1'8)	0'0 (--)
% de alumnos con frases-idea indicadoras de aprendizaje repetitivo				
Ninguna	69'6 (6'1)	47'4 (8'1)	60'6 (5'0)	29'5 (3'4)
1 o más	30'4 (6'1)	52'6 (8'1)	39'4 (5'0)	70'5 (3'4)
6 o más	0'0 (--)	0'0 (--)	0'0 (--)	8'6 (2'1)
Otras categorías				
% Entre 1 y 2 frases	23'2 (5'6)	23'7 (6'9)	23'4 (4'4)	36'6 (3'6)
% Mas de 2 frases	1'8 (1'8)	5'3 (3'6)	3'2 (1'8)	4'5 (1'6)
Nº medio de frases-idea por alumno	10'6	8'5	9'5	3'0

Como se deduce de ambas tablas, los alumnos experimentales, a mitad de un tema, se apropian mucho más de lo que se está tratando que los alumnos no tratados. Escriben más y mejores ideas que los de control, tal como se muestra en el gráfico 6.C1 (b).

Gráfico C1 (b). % de alumnos que expresan ideas indicadoras de apropiación a mitad de un tema, agrupados por número de ideas



La gradación existente entre los resultados de los grupos del profesor colaborador y los de la investigadora, pueden tener su origen –en nuestra opinión y teniendo en cuenta que esta investigación no fue diseñada para analizar dichas diferencias- en una lógica mayor implicación de la investigadora que debe haberse traducido en un mayor énfasis en resaltar la estructura problematizada de la enseñanza: posiblemente ha dedicado mayor atención a plantear los problemas y su interés, a que se apropien de la estrategia o a realizar recapitulaciones, por ejemplo.

Pasamos ahora a presentar los resultados sobre la apropiación al final de un tema o de una gran síntesis.

6.1.2.b) Efectos de la estructura problematizada en los indicadores de apropiación al final de un tema y de una gran síntesis

Recordemos que para obtener evidencias sobre la influencia de la forma de organizar la enseñanza en la apropiación de lo tratado, cierto tiempo después de haber acabado la enseñanza, hemos diseñado los instrumentos C2, C3, C4 y C5. En todos los casos, dichos cuestionarios se han pasado –sin previo aviso, y de manera anónima- más de quince días después de haber acabado un tema o una gran síntesis, y, en el caso de los grupos experimentales de la investigadora, más de un mes después.

El cuestionario C2 se ha pasado a alumnos de 3º de ESO y de 1º BCN en temas que no pertenecían a la Mecánica (carga eléctrica, estructura corpuscular,

corriente eléctrica, etc.). Los cuestionarios **C3** y **C4** se han pasado al final de grandes síntesis (en 3º ESO al final de la Química, y en 4º ESO y 1º BCN al final de la Mecánica). En total hemos obtenido las respuestas de 9 grupos experimentales (investigadora y colaborador), con un total de 205 alumnos, y 3 de control (de tres profesores), con 60 alumnos en total.

Dado que no nos interesaba el contenido específico de los temas sino la evidencia de apropiación, hemos agrupado los resultados de los cuestionarios **C2** y **C3** (totalmente abiertos).

Recordemos brevemente su enunciado y los criterios utilizados para su análisis.

Cuestionario C2 (para detectar indicadores de apropiación al final de cualquier tema y nivel)

Imagina que tienes que explicarle a un amigo que no ha estudiado Física y Química de qué ha tratado el último tema desarrollado en la clase y convencerle de la importancia e interés que tiene lo que se ha estudiado. Escribe qué le dirías de la manera más ordenada posible.

Cuestionario C3 (ídem al final de la Mecánica)

Una vez acabada la Mecánica te pedimos que realices un resumen de las ideas más importantes que has aprendido en dicho estudio. No te pedimos fórmulas, ni ecuaciones, ni definiciones, sino que escribas frases sobre aspectos de interés que se han tratado y que has aprendido a lo largo del curso

Para tomar la decisión sobre la categorización de las respuestas hemos seguido el procedimiento descrito en la páginas 216 y siguiente del capítulo 5.

Cuadro 5.10 Criterios para la valoración de indicadores de apropiación en C2 y C3

<p>Se considerará que muestra apropiación cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que ha hecho (Orientación) - Expresa ideas importantes, de manera cualitativa (Recuerdo relevante) - Enmarca lo que ha hecho dentro de un objetivo, de un plan (Orientación) - Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones (Orientación) - Expresa actitud positiva hacia lo que ha estado haciendo (Implicación/motivación) - Expresa sensación de avance, de aprendizaje (Implicación/motivación)
<p>Se considerará que no muestra apropiación cuando</p> <ul style="list-style-type: none"> - Escribe conceptos sueltos, frases probablemente indicadoras de un aprendizaje memorístico. - No sé. Prácticamente en blanco. En blanco
<p>Valoración global de la calidad del texto</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nº ideas indicadoras de apropiación - Nº ideas que podrían indicar aprendizaje repetitivo (frases inconexas, sólo se refiere a definiciones, fórmulas,...) - Otras categorías
<p>Nº ideas total</p>

En la **Tabla 6.3** se muestran los resultados del análisis de las respuestas a **C3** y **C4**.

Para decidir si un alumno manifestaba un determinado indicador, que no era una respuesta meramente memorística o repetitiva, nos hemos fijado en si realizaba una explicación detallada de algún aspecto tratado, si expresaba una idea de forma interrogativa o articulaba una frase con sentido, que reflejara una idea importante. Por ejemplo no consideramos como apropiación poner que se ha estudiado "los principios de Newton", aún cuando puede ser un indicador de apropiación de lo estudiado no podemos afirmarlo y puede ser un aprendizaje repetitivo. Sin embargo si hemos considerado como indicadoras de apropiación frases como "he aprendido a describir los movimientos" o "sé cómo conseguir que un movimiento sea de un tipo o de otro".

A continuación mostramos algunos ejemplos y en el anexo II podemos encontrar otros sobre la valoración de las respuestas a estas preguntas abiertas.

Fragmento nº 1 (pregunta abierta: Imagina que tienes que explicarle a un amigo...)

Texto del alumno: La física i la Química, pense que són assignatures molt difícils perquè són molt complicades i difícils de comprendre (1). En l'últim tema hem donat formulacions i nomenclatura (2) i personalment, no ho entes massa bé (3). Són assignatures molt interessants(4) perquè no sabia tots els invents i els descobriments de la Física o la Química (5) i pense que són matèries molt importants en la vida (6) (1º Bachillerato)

Valoración según estadillo: según los criterios de valoración el alumno no expresa ninguna frase-idea que indique apropiación. (1) y (3), indicarían una actitud negativa, (2) indicaría un aprendizaje puntual no significativo, (4) (5) y (6) podrían ser indicadoras de una actitud positiva hacia la asignatura.

Fragmento nº 2 (pregunta abierta)

Texto del alumno: En este tema hemos estudiado como se clasifican los elementos químicos y sus características (1), los tipos de enlaces, como se llaman (2), también la formulación y la nomenclatura (3), como hacer la configuración electrónica(4) Es interesante saber de que están formados los compuestos(5) (1º Bachillerato)

Valoración según estadillo: según los criterios de valoración el alumno no expresa ninguna frase-idea de apropiación. Las frases (1), (2), (3) y (4) podrían ser consideramos como recuerdo puntual. La (5) podemos considerarla como una idea de recuerdo relevante.

Fragmento nº 3 (pregunta abierta)

Texto del alumno: Me gustaría explicarlo pero aunque lo entiendo no se como explicarlo ni por donde empezar porque no me acuerdo (1º Bachillerato)

Valoración según estadillo: Una sola frase que muestra claramente la desorientación del alumno. Como no se puede considerar claramente como indicadora de actitud negativa, la hemos considerado en "otras categorías"

Fragmento nº 4 (pregunta abierta)

Texto del alumno: El último tema que hemos estudiado ha sido: las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento o en reposo (1). Es importante, porque por ejemplo, podemos saber porque la Luna no se cae (2) o porque si tiras una piedra no le pasa lo mismo que a la Luna, o porque un cuerpo tiene un tipo de movimiento de otro tipo (3) (4º ESO)

Valoración según estadillo: según los criterios de valoración el alumno muestra orientación (1) expresa ideas importantes de modo cualitativo (2) y (3).

Fragmento nº 5 (pregunta abierta)

Texto del alumno: Le explicaría que hay varios tipos de movimientos dependiendo de las fuerzas que actúan sobre él, (1) como por ejemplo, existe el M.R.U.A. con v aumentando o con v disminuyendo; (2), el M.C.U. (movimiento circular uniforme)

En una superficie con rozamiento actúan distintas fuerzas sobre un cuerpo y en una superficie sin rozamiento actúan menos fuerzas (3)

Le explicaría también las 2 leyes de la Dinámica y la ley de Gravitación Universal (4)

Valoración según estadillo: según los criterios de valoración el alumno muestra orientación y recuerdo relevante (1) sin embargo las (2) y (3) puede considerarse como indicadoras de un aprendizaje repetitivo y la (4) la clasificaríamos en otras categorías.

Fragmento nº 6 (pregunta abierta)

Texto del alumno: En lo que llevamos de curso hemos estudiado que tipo de movimiento tiene cada cuerpo (1). Si es con M.U. que siempre lleva la misma velocidad. Un M.U.A. que cada vez va acelerando. Un M.C.U. que lleva la misma velocidad pero que va girando M.R.U. que se mueve con la misma velocidad pero en línea recta (2). También hemos estudiado la fórmula de la fuerza de la gravedad $GM.m/d^2$ (3)

Todo esto sirve para entender problemas de la vida cotidiana (4). De cómo puede poner una nave en órbita. Por que tiras una piedra y cae al suelo. Cuanto tardará un coche en frenar para pararse en un semáforo. Los metros de pista que necesita un avión para despegar (5) (4º ESO)

Valoración según estadillo: según los criterios de valoración el alumno muestra orientación y recuerdo relevante y sensación de avance (1); da ideas importantes como resumen del curso (2). Esta idea puede ser considerada como un aprendizaje repetitivo (3). La frase (4) se explica por lo que sigue y junto con la (5) se considera orientación al expresar el interés mediante ejemplos de aplicaciones.

Fragmento nº 7 (pregunta abierta)

Texto del alumno: Sobre las fuerzas. Fuerzas de rozamiento (1). El rozamiento existe ya que sin él las cosas se mueven como en el espacio y no pararían (2) (4º ESO)

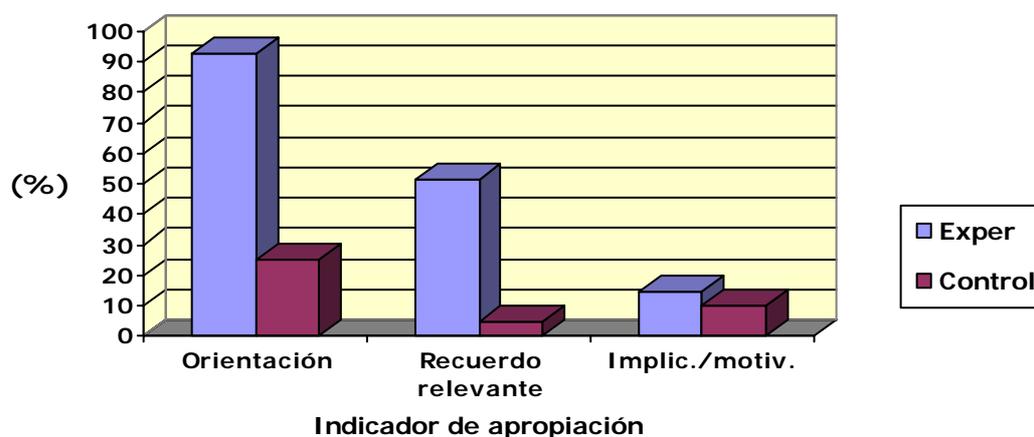
Valoración según estadillo: según los criterios de valoración el alumno muestra un aprendizaje puntual (1) expresa una idea importante de modo cualitativo (2).

TABLA 6.C2-C3. Influencia de la forma de estructurar la enseñanza sobre algunos indicadores de apropiación por los alumnos al final de un tema y de una gran síntesis (preguntas totalmente abiertas)

% de alumnos que al responder a C2 o C3 manifiesta apropiación		
	Experimental	Control
C2 Imagina que tienes que explicarle a un amigo que no ha estudiado Física y Química de qué ha tratado el último tema...	N= 205	N = 60
C3: Una vez acabada la Mecánica te pedimos que realices un resumen de las ideas más importantes que has aprendido en dicho estudio...	% (Sd)	% (Sd)
Orientación		
- Expresa el interés de lo que ha estado haciendo de manera cualitativa, global	92'7 (1'8)	25'0 (5'6)
- Enmarca lo que ha estado haciendo dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan	37'2 (3'4)	7'0 (3'3)
- Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales	35'6 (3'3)	0'0 (--)
Recuerdo relevante		
- Escribe ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativa y coherentemente sobre lo que ha estado haciendo	51'1 (3'5)	5'0 (2'8)
- Escribe conceptos sueltos.	9'8 (2'1)	75'0 (5'6)
Implicación/ motivación		
- Expresa actitud positiva hacia lo que ha estado haciendo (atractivo, interesante, ...)	14'6 (2'5)	2'3 (1'9)
- Sensación de avance, de aprendizaje	14'1 (2'4)	10'0 (3'9)
- Expresa actitud negativa	0'0 (--)	3'3(2'3)
Valoración global de la calidad del texto		
En blanco o casi	0'0 (--)	6'7 (3'2)
% de alumnos con frases indicadoras de apropiación		
- Entre 1 y 5 frases-ideas	57'1 (3'5)	10'0 (3'9)
- más de 6 frases-ideas	35'6(3'3)	3'3 (1'8)
% de alumnos con frases que podrían indicar aprendizaje repetitivo		
- Entre 1 y 5 frases-ideas	28'8(3'2)	66'7(6'1)
- más de 6 frases-ideas	0'0(--)	15'0(4'6)
% de alumnos con frases-ideas de "otras categorías"	2'4(1'1)	5'0(2'8)

Las diferencias en la apropiación de lo tratado, después de cierto tiempo de haber acabado su estudio, entre los alumnos que han recibido instrucción con una estructura problematizada y los que no, son claras a partir de los resultados de la tabla 6.C2-C3 y del gráfico 6.C2-C3.1, como podemos apreciar en la gráfica adjunta.

Gráfico 6.C2-C3.1. Indicadores de apropiación presentes en los alumnos al final de un tema o una gran síntesis



Como vemos, la práctica totalidad de los alumnos tratados expresan ideas que indican orientación (conocen qué interés ha tenido lo tratado, lo enmarcan dentro de una finalidad o plan, citan aplicaciones). Sin embargo, sólo la cuarta parte de los alumnos no tratados escriben alguna idea cualitativa sobre el interés de lo estudiado; tan sólo un 7 % enmarca lo hecho dentro de una finalidad general y ningún alumno se refiere a posibles aplicaciones para apoyar el interés.

Algo más de la mitad (51,1 %) de los alumnos experimentales (un mes después de haber acabado el tema sobre el que se les pregunta) escriben frases que expresan cualitativamente ideas relevantes de los contenidos tratados, mientras sólo el 5 % de los alumnos de control lo hacen. Es necesario resaltar que el 75 % de los alumnos de grupos no tratados sólo escriben conceptos sueltos (nombres, definiciones literales o fórmulas no acompañadas de ideas cualitativas), mientras que sólo el 9'8 % de los alumnos que han seguido una enseñanza con una estructura problematizada responden de esa manera.

La expresión espontánea de implicación o motivación ("me ha gustado..." "he (hemos) aprendido que..."; "no le veo ningún interés..." "he aprendido mucho ..") se da en porcentajes bajos en ambos grupos, lo que resulta lógico al no demandarse este tipo de indicador con el enunciado de las cuestiones, pero en todos los casos los resultados son mejores en los grupos experimentales.

Estos resultados se ven reflejados de otra forma en la "calidad del texto", medida a partir del número de frases-idea indicadoras de apropiación o indicadoras de aprendizaje repetitivo. Basta ver en la **tabla 6.C2-C3** que más del 92 % de los alumnos experimentales han escrito más de una frase indicadora de apropiación (el 35'6% seis o más frases), frente al 13'3 % de los alumnos no tratados que lo hacen (sólo el 3'3 % escriben seis o más frases de este tipo). Estas diferencias se invierten cuando analizamos el porcentaje de alumnos que han escrito frases consideradas indicadoras de aprendizaje repetitivo: el 28,8% en los grupos experimentales y el 66,7 % en los de control. El porcentaje de otras categorías es pequeño en ambos grupos.

Podemos afirmar, pues, que la apropiación mostrada por los alumnos que han seguido una enseñanza problematizada, un mes después de haber terminado la enseñanza, es mucho mejor que los que no han seguido este tipo de instrucción.

El siguiente instrumento para encontrar evidencia de apropiación a medio plazo a través de la producción de los alumnos ha sido el cuestionario **C4** (donde se pregunta de una manera más dirigida que en **C2** y **C3**) que se ha pasado como mínimo un mes después de haber tratado en clase una gran síntesis, en dos versiones distintas (una para la Mecánica newtoniana y otra para la Teoría atómico-molecular de las sustancias) cuyo enunciado y estadillo de corrección recordamos *abreviadamente* a continuación:

Cuestionario C4 (final Mecánica newtoniana)

Como sabes, en este curso de Física hemos estudiado la Mecánica

- a) Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él
- b) La Mecánica se ha dividido en varios temas, di qué trataba cada uno de ellos y cómo estaban relacionados
- c) ¿A qué preguntas sobre el movimiento de los cuerpos podrías responder ahora que no sabías al principio de la Mecánica?. ¿Qué avances consideras que has realizado, es decir, qué cosas importantes has aprendido en esta asignatura durante el curso?
- d) Centrándonos ahora en el tema, por ejemplo, de Dinámica, explica brevemente qué aspectos se trataban en ese tema, qué se buscaba conseguir o qué interés tenía tratar esos aspectos (¿por qué o para qué se han tratado?) y lo que has aprendido en la cuestión o asunto que se estudiaba.

Cuestionario C4 (bis) (final de la estructura atómico-molecular de las sustancias)

Como sabes, en este curso hemos estudiado la estructura de la materia.

- a) Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él
- b) Este curso se ha dividido en varios temas, di qué trataba cada uno de ellos y cómo estaban relacionados
- c) ¿A qué preguntas sobre la estructura de las sustancias podrías responder ahora que no sabías al principio?. ¿Qué avances consideras que has realizado, es decir, qué cosas importantes has aprendido en esta asignatura durante el curso?
- d) Centrándonos ahora en el tema, por ejemplo, de estructura corpuscular, explica brevemente qué aspectos se trataban en ese tema, qué se buscaba conseguir o qué interés tenía tratar esos aspectos (¿por qué o para qué se han tratado?) y lo que has aprendido en la cuestión o asunto que se estudiaba

El cuestionario C4, sobre la síntesis newtoniana, se ha pasado en 4º ESO y en 1º BCN y el C4 Bis, sobre la estructura de las sustancias, en 3º ESO. En ambos casos se ha presentado a los alumnos como una actividad de recapitulación, al menos un mes después de haber acabado la síntesis correspondiente. Se han pasado a un total de 25 grupos de alumnos (N = 421) desde el curso 1998-99 al 2002-2003. De los 14 grupos experimentales (N = 229), 6 (1 de 3º de ESO; 3 de 4º ESO y 2 de 1º de BCN) fueron de la profesora investigadora (N = 89), 8 (2 de 3º de ESO; 5 de 4º ESO y 1 de 1º de BCN) de 3 profesores colaboradores (N =

140). Los 10 grupos de control (3 de 3º de ESO; 7 de 4º de ESO y 2 de 1º de BCN) pertenecían a 7 profesores voluntarios (N = 192).

Cuadro 5.11 Estadillo para el análisis del cuestionario C4 (para detectar indicadores de apropiación al final de una gran síntesis) mediante preguntas guiadas

4 a. Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él (Orientación)	Sí/no
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que ha estado haciendo de manera cualitativa, global - Enmarca lo que ha estado haciendo dentro de un objetivo, de un plan - Expresa interés con ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales - Conceptos sueltos. Incluye palabras, frases, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadoras –muy probablemente- de que no sabe qué interés puede tener lo que se está tratando, más allá del aula 	
4 b. Expresa de qué trataba cada tema y cómo estaban relacionados (Orientación, recuerdo relevante)	Sí/No
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa el interés de lo que ha estado haciendo de manera cualitativa, global - Enmarca lo que ha estado haciendo dentro de un objetivo, de un plan - Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio - Expresa interés mediante ejemplos de aplicaciones - Expresa de qué trataba cada tema y cómo estaban relacionados - Conceptos sueltos: incluye palabras, frases, pero sólo se refieren nominalmente a conceptos o fórmulas, indicadoras –muy probablemente- de que no sabe qué interés puede tener lo que se está tratando, más allá del aula 	
4 c. ¿Qué avances ha realizado, es decir, qué cosas importantes ha aprendido durante el curso? (Implicación / motivación)	Sí/No
<ul style="list-style-type: none"> - Expresa actitud positiva (atractivo, interesante, ...) - Frases que muestran la sensación de avance, de aprendizaje global - Frases que muestran un aprendizaje repetitivo, a fórmulas, ... - Actitud negativa expresa 	
4 d. ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (Recuerdo relevante)	Sí/No
<ul style="list-style-type: none"> - Ideas importantes, expresadas cualitativamente sobre lo que se hizo - Incluye una o más preguntas, sobre qué trataba de conseguir en el tema - Nombra conceptos, fórmulas, sin frases que expresan ideas cualitativas, definiciones operativas, ... 	
Valoración global de la calidad del texto	Nº
<ul style="list-style-type: none"> - Nº ideas indicadoras de apropiación - Nº ideas que podrían indicar aprendizaje repetitivo, fórmulas,.... - Otras categorías (Prácticamente en blanco, palabras sueltas que no vienen al caso). 	
- Nº frases total	

En el estadillo o red de análisis se encuentran claramente expresados los criterios mediante los que se han valorado las respuestas de los alumnos (con letra negrita aquellos que indican apropiación). Aunque el cuestionario C4 estaba dividido en apartados que encauzaban la respuesta de los alumnos hacia un determinado indicador de apropiación, en ocasiones los alumnos han escrito ideas que –según nuestras previsiones- respondían a uno de los apartados en otro

distinto. Por ello, para catalogar las respuestas se ha analizado la totalidad del texto escrito, asignando las ideas a indicadores de apropiación independientemente del apartado en que han aparecido. La referencia al apartado (b, c, d) que aparece, pues, en la **tabla 6.C4 (a)**, junto a los indicadores de apropiación es solamente indicativa de dónde suelen encontrarse con mayor frecuencia las ideas que evidencian dicho indicador.

La categorización de las ideas expresadas por los alumnos se ha completado con una valoración global de la riqueza del texto cuantificando el número de frases-idea indicativas de un aprendizaje significativo y/ o de apropiación, de un aprendizaje repetitivo o de "otras categorías", con los mismos criterios utilizados en cuestionarios anteriores.

A la hora de analizar las respuestas hemos tenido en cuenta el tanto por ciento de los alumnos que dan una respuesta aceptable a favor de la hipótesis, según los criterios reseñados en el diseño, por tipo de profesor y globalmente. Al igual que en el apartado anterior, hemos valorado la respuesta de forma tal que podamos decir que no puede ser debida sólo a una aprendizaje repetitivo, a una buena memoria. Si el alumno se ha apropiado del tema, debe ser capaz de expresar, de escribir, frases-ideas con sentido, no sólo conceptos puntuales y estereotipados. Por ejemplo, podemos decir que un alumno muestra apropiación si afirma que "he estudiado las magnitudes que me permiten describir un movimiento", pero no si pone "he estudiado la velocidad" o, análogamente, muestra apropiación si dice "sé porqué algunos materiales al frotarlos se atraen o se repelen" pero no si escribe "las cargas pueden ser positivas o negativas". Otro tipo de respuestas que indicaría apropiación son aquéllas en que se avanzan preguntas/problemas que se han de solucionar o que quedan pendiente por resolver. Hemos considerado, en cambio, no indicadores de apropiación las respuestas de los estudiantes que se limitan a decir el título del tema o aspectos puntuales del mismo.

A continuación ponemos ejemplos de valoraciones realizadas.

Fragmento nº 1

Texto del alumno: Uno de los objetivos era destruir “la barrera” que nos hacía distinguir entre los movimientos de los cuerpos en la Tierra y en el Universo, obtener una explicación universal de todos los movimientos Otro objetivo era caracterizar dicho movimiento para predecir el comportamiento mecánico del cuerpo, dónde y cuando iba a estar y su trayectoria (4º ESO)

Valoración: Expresa claramente orientación y recuerdo relevante –enmarca lo que ha hecho dentro de una finalidad general; expresa interés mediante problemas prácticos generales (predecir dónde estará...). 2 ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 2:

Texto del alumno: Saber por qué y de qué forma se mueven los cuerpos y qué fuerza y de qué manera actúa sobre ellos. (4º ESO)

Valoración: Expresa orientación y recuerdo relevante –enmarca lo que ha hecho dentro de una finalidad general; ideas importantes de forma cualitativa sobre lo que se hizo-. 2 ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 3:

Texto del alumno: Ahora puedo responder al porque dos cuerpos bajan a la misma vez si uno pesa más que el otro. Qué fuerzas actúan sobre un cuerpo para que este se mueva en diferentes direcciones. (4º ESO)

Valoración: Expresa implicación (Ahora puedo responder...) y recuerdo relevante –ideas importantes expresadas cualitativamente. 2 ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 4

Texto del alumno: Velocidad, aceleración, fuerzas, vectores (4º ESO)

Valoración según red de análisis: No muestra apropiación (lista de nombres). 1 frase posiblemente indicadora de aprendizaje no significativo.

Fragmento nº 5

Texto del alumno: Dinámica (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Teniendo en cuenta resto del texto escrito: No muestra apropiación. 1 frase posiblemente indicadora de aprendizaje no significativo.

Fragmento nº 6

Texto del alumno: En este tema se trataba de explicar él por qué y cómo se mueven los objetos y que todos los objetos en el universo se rigen por las mismas leyes. (4º ESO)

Valoración: Expresa orientación y recuerdo relevante –enmarca lo que ha hecho dentro de una finalidad general; ideas importantes de forma cualitativa sobre lo que se hizo-. 2 ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 7

Texto del alumno: Lo que pretendíamos aprender en este curso, es el movimiento de los cuerpos, como iban a reaccionar si los golpeabas con cierta fuerza, que podía pasar si tomabas una curva a mayor o menor velocidad, también a definir más o menos la trayectoria que seguirá un objeto si lo tiras o cae desde cierta altura, a una velocidad concreta. Más o menos hemos aprendido la trayectoria de los movimientos y las reacciones que se producirán dependiendo de algunos factores concretos (v, a, ángulo de curvatura, ...) (1º BAC)

Valoración según red de análisis: Muestra orientación y recuerdo relevante. 5 frases-idea indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 8

Texto del alumno: Durante este curso he aprendido mucho mejor lo que, de alguna manera, había empollado el año pasado, es decir, el año pasado nos daban la fórmula de cualquier cosa, te la aprendías y lo aplicabas a todo, pero este año he aprendido de donde vienen esas fórmulas y porqué son de esa forma y no de otra; esta forma de aprender es más eficaz que la de empollar, esta es mi opinión, quizás una persona de letras no esté de acuerdo conmigo (1º BAC).

Valoración según red de análisis: Muestra implicación/ motivación (actitud positiva; sensación de avance). 3 frases-idea indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 9

Texto del alumno: He aprendido que un cuerpo sólo es inútil, siempre necesita de algún otro para ayudarse y ponerse en movimiento (4º ESO)

Valoración: Expresa recuerdo relevante – idea importante expresada cualitativamente- 1 idea indicadora de apropiación.

Fragmento nº 10

Texto del alumno: Todo este estudio, así como la estructura de presentación del tema y su desarrollo me han hecho plantearme las cosas de manera serena y a partir del problema inicial plantear soluciones o sacar otros problemas derivados, pero no sólo en la asignatura de Física, sino en muchas otras tales como Biología e incluso Filosofía. (1º BAC)

Valoración según red de análisis: sensación de aprendizaje, actitud positiva

Fragmento nº 11

Texto del alumno: Se iban planteando problemas a los que íbamos buscando solución no simplemente con fórmulas, sino pensando y discuriendo cómo podía explicar la cuestión que siempre quedaba en el aire para avanzar en el tema o para pasar al siguiente. Era como las series que terminan con continuará. De esta manera enlazábamos los temas (1º BAC)

Valoración según red de análisis: Muestra Orientación en la forma de trabajar, pero no explica lo que se ha avanzado en el tema o el curso. Otras categorías

Fragmento nº 12

Texto del alumno: En aquel tema nos planteábamos el problema de poder explicar por qué los movimientos se producían de una forma u otros (1) y si éramos capaces de manipularlos nosotros mismos a partir de esto (2). Por ello trabajamos el tema de las fuerzas desde diferentes aspectos y en todo momento relacionándolos con las consecuencias que estas tenían sobre los objetos (3). Todo ello me ha permitido como decía, además de tener la capacidad de manejar toda esta serie de conceptos introducidos, analizar los movimientos (4), me ha quedado esa visión general del tema, que incluso me ha llevado a romper algunos preconceptos que me engañaban (5) y me permitirá de ahora en adelante trabajar estos temas de una manera clara y orientada (6) “sabiendo qué es lo que hago y a dónde voy”¹³ (7)(1º BAC)

Valoración según red de análisis: Muestra recuerdo relevante; orientación; implicación/ motivación. (2), (1) (4). 7 frases-idea indicadoras de apropiación

Fragmento nº 13

Texto del alumno: He respondido a preguntas que nunca me hubiera podido plantear. (3º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra implicación/ motivación (sensación de avance). 1 frase de apropiación

Fragmento nº 14

Texto del alumno: A principio del curso tratábamos de averiguar ¿por qué la Luna no cae? (1). Y aunque parezca mentira lo hemos averiguado (2) y además también podemos diferenciar un movimiento uniforme de otro uniformemente acelerado (3) (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra orientación y recuerdo relevante (enmarca lo hecho en una finalidad general; expresa ideas relevantes de forma cualitativa) e implicación/ motivación (sensación de avance). 3 frases-ideas indicadoras de apropiación.

¹³ Entre comillas en el original

Fragmento nº 15

Texto del alumno: En este curso la forma en la que se han ido desarrollando los temas primero planteando el problema inicial del que partir y sacar diferentes propuestas o problemas que derivan del mismo a medida en que se va avanzando (1). Una vez se acaba el tema se hace una pequeña recapitulación o esquema donde se refleja el problema inicial y las diferentes soluciones o variantes (2). La forma en que se pasa de un tema a otro no es otra más que enlazar los últimos puntos que se observan en un tema con el principio de otro, puesto que las cosas que se aprenden desde un principio no deben olvidarse y así sirven para poder estudiar otras (3). (1º BAC)

Valoración según red de análisis: 3 frases-idea globales que muestran orientación y recuerdo relevante. (3) Actitud positiva

Fragmento nº 16

Texto del alumno: La forma de finalizar cada tema me ha ayudado planteándome nuevas preguntas (3º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra implicación/ motivación (actitud positiva). 1 frase de apropiación

Fragmento nº 17

Texto del alumno: Hemos estudiado las cargas (3º ESO)

Valoración según red de análisis: Teniendo en cuenta resto del texto escrito: No muestra apropiación (nombra conceptos sueltos). 1 frase posiblemente indicadora de aprendizaje no significativo.

Fragmento nº 18

Texto del alumno: Hemos estudiado el principio de acción y reacción (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Teniendo en cuenta resto del texto escrito: No muestra apropiación (nombres de conceptos o ideas sueltas). 1 frase posiblemente indicadora de aprendizaje repetitivo

Fragmento nº 19

Texto del alumno: Se trata de las fuerzas (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Teniendo en cuenta resto del texto escrito: No muestra apropiación (nombres de conceptos o ideas). 1 frase posiblemente indicadora de aprendizaje repetitivo

Fragmento nº 20

Texto del alumno: Gracias a ella (se refiere al interés de la Mecánica, apartado C4a), podemos decir porque un movimiento se mueve de una determinada forma (1), podemos decir como hacer que un movimiento sea del tipo que nosotros queramos (2), etc. Así pues, ahora sé que en el movimiento la fuerza tiene un papel importante, sé que características tiene un movimiento curvilíneo (3), también para que nos sirva el estudio de las fuerzas en fluidos, el cual podemos aplicar a la construcción de presas, pantanos,(4) ...(aunque este es un tema diferente). Además sé que aplicaciones tiene la dinámica en la vida cotidiana (5) (4º ESO).

Valoración según red de análisis: Muestra orientación (expresa el interés de lo que ha tratado, indica aplicaciones expresadas de manera general) e implicación/motivación (sensación de avance, de aprendizaje). 5 frases-ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 21

Texto del alumno: Pienso que, más o menos he aprendido los objetivos mínimos. Y lo más importante, he descubierto el funcionamiento de algunas cosas que me rodean, y ahora sé porque hace tal cosa, porque se mueve de tal manera, ... Entre las cosas aprendidas, se como diferenciar distintos tipos de movimientos, he descubierto el sentido de algunas magnitudes, sus respectivas ecuaciones, las gráficas que tienen, el tipo de movimiento de algunos objetos, etc. (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra recuerdo relevante (ideas relevantes expresada cualitativamente: "cómo diferenciar distintos....") e implicación/motivación (sensación de avance). 2 frases-ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 22

Texto del alumno: Siempre al empezar el tema me costaba mucho el porque era así, al final del tema acababa entendiendo muchas preguntas que me hacía al principio (3º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra implicación/ motivación (sensación de avance). 1 frase de apropiación

Fragmento nº 23

Texto del alumno: Cada vez que empezábamos un tema nos planteábamos unas preguntas relacionadas con dicho tema, que normalmente podíamos ver en la vida cotidiana. Seguidamente en grupos íbamos describiendo, por medio de actividades, la solución a las primeras preguntas. Pero a veces, las soluciones planteadas tenían limitaciones, por ello pasábamos a otro tema, o lo que habíamos dado se podía ampliar a otros campos. También realizábamos experiencias prácticas para ampliar conocimientos. Para terminar hacíamos resúmenes, donde se recogían los conocimientos aprendidos. (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Este fragmento no contiene ideas indicadoras de apropiación de lo tratado (puede dudarse si expresa actitud positiva). Describe la forma de trabajar, frases-ideas de "otras categorías", ideas cualitativa de orientación

Fragmento nº 24

Texto del alumno: Al comenzar el curso realizábamos una serie de cuestiones que tendríamos que averiguar a lo largo del curso, relacionadas con el estudio del movimiento y sus características. Entre ellos pude destacar: ¿por qué se mueven los cuerpos?, ¿por qué la Luna no cae?, ¿por qué un cuerpo se mueve de una forma? (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra orientación. 3 frases-ideas indicadoras de apropiación.

Fragmento nº 25

Texto del alumno: He aprendido a diferenciar movimientos curvilíneos de rectilíneos, sumar y restar vectores, hallar las fuerzas resultantes (1). En realidad lo que hemos hecho es aplicarlo a cosas cotidianas, cosas que nos pasan todos los días (2) y así entendimos mejor, pero me faltaban detalles por comprender y me perdí (3) (4º ESO)

Valoración según red de análisis: Muestra recuerdo relevante cualitativo (1) y (2); (3) sensación de que no ha aprendido lo suficiente, muestra desorientación.

Los resultados del cuestionario C4 y C4 Bis se encuentran en la **tabla 6.C4 (a) y 6.C4 (b)**

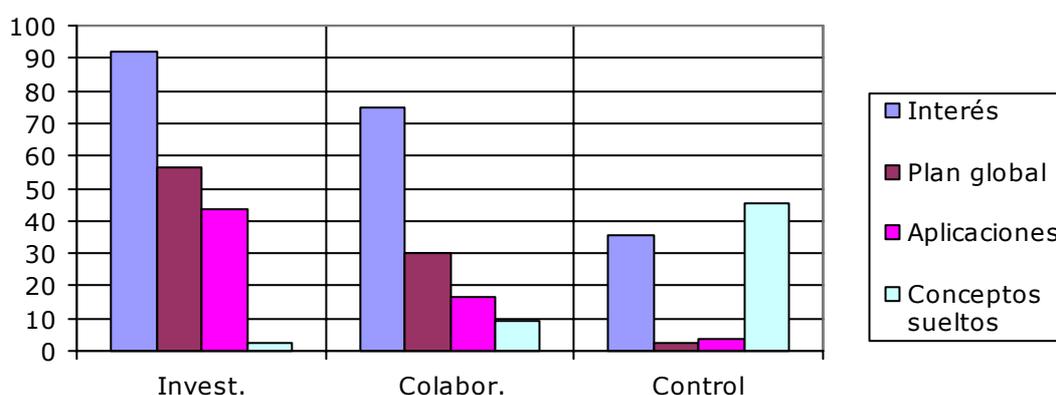
TABLA 6.C4 (a) Influencia de la forma de estructurar la enseñanza sobre algunos indicadores de apropiación por los alumnos más de un mes después del final de una gran síntesis (cuestionario dirigido)

% de alumnos que después de una gran síntesis o al final del curso recuerda: (C4 y C4 bis)	Investigadora N=89 % (Sd)	Colaboradores N=140 % (Sd)	T. Expr. N=229 % (Sd)	Control N=192 % (Sd)	T
Se sienten orientados (a, b)					
- Expresan el interés de lo que han hecho, de una manera cualitativa, global	92'1 (2'9)	75'0 (3'7)	81'6 (2'6)	35'4 (3'5)	10'60
- Enmarcan lo que han hecho dentro de un objetivo o finalidad general, de un plan	56'2 (5'3)	30'0 (3'9)	40'2 (3'2)	2'6 (1'1)	11'12
- Expresan interés mediante ejemplos de aplicaciones o problemas prácticos generales	43'8 (5'2)	16'4 (3'1)	27'0 (2'9)	3'7 (1'4)	7'24
- Sólo dice conceptos sueltos	2'2 (1'6)	9'3 (2'5)	6'6 (1'6)	45'3 (3'6)	9'82
Muestran implicación/ motivación (c)					
- Tienen sensación de avance, de aprendizaje global	97'8 (1'6)	79'3 (3'4)	86'5 (2'3)	32'9 (3'4)	15'23
- Expresan una actitud positiva	25'8 (4'6)	25'7 (3'7)	25'7 (2'7)	14'6 (2'5)	3'02
- Reflejan una actitud negativa	2'2 (1'6)	5'0 (1'8)	3'9 (1'3)	16'2 (2'7)	4'1
- Sólo expresan frases que reflejan aprendizaje no significativo, lo que implica muy baja implicación	2'2 (1'6)	15'0 (3'2)	10'0 (2'0)	19'8 (2'8)	2'85
Tienen un recuerdo relevante global al ser preguntados por un tema dado tiempo atrás (d)					
- Recuerdan ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativa y coherentemente sobre lo que se hizo	96'6 (1'9)	67'9 (3'9)	79'1 (2'7)	28'6 (3'1)	12'29
- Solo nombra conceptos, formulas, sin frases que expresen ideas cualitativas	0'0 (--)	8'6 (2'4)	8'7 (1'9)	29'2 (3'3)	5'38

Como puede verse, globalmente los resultados muestran diferencias a favor de los alumnos que han seguido una enseñanza con una estructura problematizada, que son muy significativas cuando se comparan los alumnos de la profesora investigadora y de los profesores colaboradores con los de control.

En efecto, cuando nos referimos a los alumnos experimentales de la investigadora y de profesores colaboradores, encontramos que, con seguridad, el 92'1 % y el 75 % de ellos manifiestan ideas que expresan orientación, frente al 35 % de los alumnos de grupos de control. Un 45 % de los alumnos de control sólo escriben conceptos sueltos, cuando se les pide que "escriba algunas frases sobre qué interés ha tenido el estudio realizado, qué se pretendía conseguir con él" (apartado a)) ó "di de qué trataba cada uno de los temas (que formaban la síntesis) y cómo estaban relacionados" (apartado b)) y claramente inferiores a los de los grupos experimentales de la profesora investigadora y colaboradores (2'2 % y 9'3 % respectivamente).

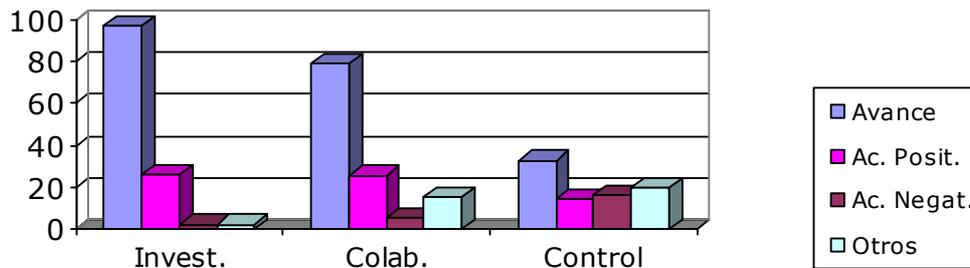
Gráfico C4 (a)1. % indicadores de apropiación



Como podemos apreciar en la **tabla 6.C4 (a)** y en la gráfica adjunta hay claras diferencias en los indicadores de apropiación referidos a la orientación al final de una síntesis. El porcentaje de alumnos experimentales que expresan ideas de forma cualitativa, global, es más del doble que los de control, situación que se invierte cuando nos referimos a los que contestan con frases sueltas, siendo la relación de un 6,6% en los grupos experimentales frente a casi la mitad de los de control (45,3 %). Es importante las diferencias de las respuestas cuando nos referimos a los alumnos que enmarcan lo que están haciendo dentro de un plan (40,2% de los experimentales frente al 2,6% de control) o que dice aplicaciones prácticas (un 27% frente al 3,7% respectivamente), en los dos casos las diferencias en los porcentajes son muy grandes.

Respecto a los indicadores de implicación/motivación, aunque no eran preguntados explícitamente, si hemos podido constatar que los grupos experimentales duplican sobradamente el porcentaje de alumnos de los grupos de

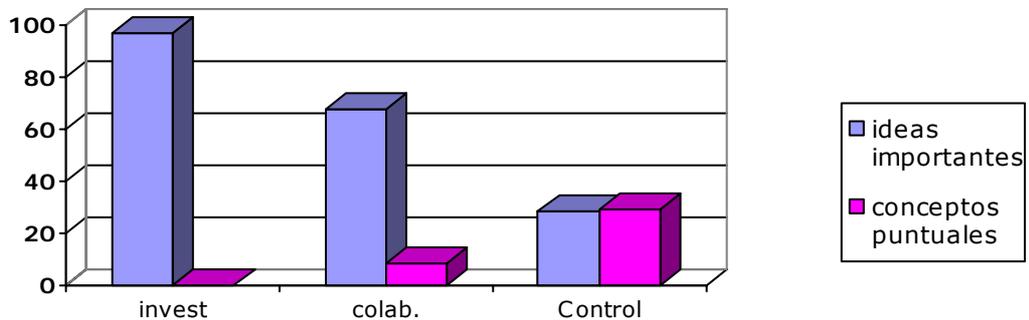
Gráfico C4 (a).2: % que muestran implicación/motivación



control que tiene "sensación de avance", de aprendizaje, puesto de manifiesto por los propios alumnos al afirmar, por ejemplo, "he aprendido a ...", "hemos conseguido ...", lo que indica claramente que el alumno se ha sentido implicado en lo que estaba haciendo, que formaba parte de un plan y que éste no sólo era asumido por el profesor. Si nos referimos al total de los alumnos experimentales, un 86'5 % muestran evidencias de implicación (expresan sensación de avance, de aprendizaje) frente a sólo un 32,9 % de los alumnos de control. Otra cuestión a resaltar es los cambios en los porcentajes de los alumnos que manifiestan de forma expresa, sin habérselo solicitado, una actitud positiva o negativa: un 25,7 % de los grupos experimentales manifiestan una actitud positiva frente a sólo un 14,6 % de los de control, por contra el tanto por ciento de los que reflejan una actitud negativa se invierte siendo del 4% de los alumnos experimentales frente a un 16 % de los de control. En todo caso, este porcentaje no es muy alto, solo el 16,2% de los alumnos de control, cuestión que concuerda con los otros datos como veremos más adelante (C6 y C7). Los alumnos de los grupos de control valoran positivamente a sus profesores: como ya comentamos no son profesores elegidos al azar, sino preocupados por conseguir mejores resultados con sus alumnos.

En cuanto a un recuerdo relevante, de ideas importantes, después de un tiempo de haber terminado la síntesis, expresadas de forma *cualitativa y coherente*, el 79 % de los alumnos experimentales expresan las ideas más importantes, globalizadas, de una manera cualitativa (y cuantitativa) coherente

Gráfico C4 (a).3: % muestran recuerdo relevante



con lo trabajado en el aula frente a sólo un 28,6 % de los alumnos de control, relación que se invierte cuando nos referimos al % que sólo nombra algunos conceptos o frases que denotan un aprendizaje repetitivo (como por ejemplo, los principios de Newton, sin más o $F=m.a$), siendo del 9% de los alumnos experimentales frente al 29,2 % de los de control.

En todos los indicadores de apropiación hay diferencias significativas entre los alumnos de los grupos experimentales y los de control tanto utilizando la *t* de *student* como en el *tamaño del efecto* (TE) con $\alpha < 0,001$, salvo en el porcentaje de alumnos que solo expresan frases que reflejan un aprendizaje no significativo en el que $\alpha < 0,01$. Las diferencias, por tanto, en los indicadores de apropiación de lo tratado, más de un mes después de su finalización, son claramente favorables a los grupos que han recibido una instrucción problematizada.

El análisis de las diferencias entre los distintos grupos puede ser útil para identificar aspectos no tratados adecuadamente en el desarrollo de las clases, y, también, para proponer procesos de formación del profesorado más efectivos. En este sentido, conviene recordar que los profesores de control eran profesores que habían participado en algún curso de formación (de más de 30 horas) y han consentido dejarnos sus clases para pasar los cuestionarios. Las diferencias existentes parecen indicar que dicha formación no es suficiente –algo que ya sabíamos– para llevar a cabo con efectividad una enseñanza problematizada. En concreto, la orientación de los alumnos de los profesores debe ser mejorada: los resultados parecen señalar que dichos profesores no han puesto el necesario énfasis en enmarcar lo que han hecho dentro de un objetivo o finalidad general (lo

que se consigue resaltando la estructura y haciendo que los alumnos realicen recapitulaciones), o dentro de un plan, ni han prestado la atención debida a resaltar las aplicaciones de lo tratado y problemas que permite resolver (lo que se consigue resaltando las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente, por ejemplo).

Otro aspecto que hemos valorado es la riqueza del texto. A la hora de analizarlo hemos tenido en cuenta el tipo de frase (si indica un aprendizaje repetitivo, si es indicadora de apropiación o si no puede ser catalogadas en estas categorías y el número de las mismas). Los alumnos, a la hora de contestar, suelen escribir frases de distinto tipo en un mismo cuestionario.

Estas diferencias se traducen en la calidad de los textos escritos por los estudiantes, que se muestra en la **tabla 6.C4 (b)**

El porcentaje de alumnos que escriben más de una frase con ideas indicadora de apropiación es del 95,2 % de los grupos experimentales, apenas hay diferencias entre los alumnos de la profesora investigadora de los colaboradores en este sentido, frente a el 55,7 % de los de control, lo que denota un alto porcentaje de alumnos de estos grupos con ninguna idea de apropiación al final de una gran síntesis. Estas diferencias son mayores cuando analizamos textos con mayor número de ideas. Así, mientras que casi el 50% de los alumnos experimentales escriben más de 10 frases indicadoras de apropiación, sólo lo hacen un 2 % de los de control. En este caso y cuando escriben más de 20 frases, si se aprecia diferencias entre los alumnos de la profesora investigadora (el 87,6 % y 50 % respectivamente) y los de los colaboradores (25,7% y 2,1% respectivamente). Respecto al porcentaje de ideas indicadoras de aprendizaje repetitivo, las diferencias en los porcentajes se invierten. Así casi la mitad de los alumnos experimentales no escriben ninguna idea que se pueda catalogar de meno aprendizaje repetitivo, frente a la cuarta parte de los alumnos de control.

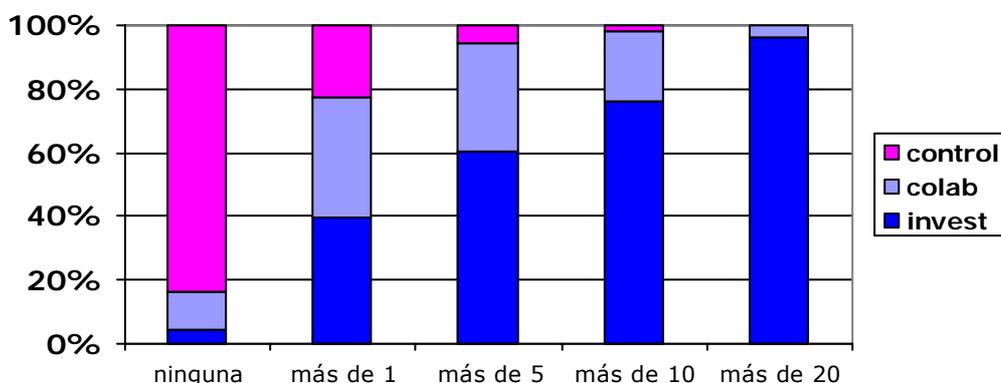
TABLA 6.C4 (b). Influencia de la forma de estructurar la enseñanza sobre algunos indicadores de apropiación por los alumnos al final de una gran síntesis (C4). Calidad del texto.

Riqueza global del texto después de una gran síntesis	Investigadora N=89 % (Sd)	Colaboradores N=140 % (Sd)	T. Expr. N=229 % (Sd)	Control N=192 % (Sd)	t
% alumnos cuyo texto contiene frases-ideas indicadoras de apropiación					
- Ninguna	2'2 (1'6)	6'4 (2'1)	4'8 (1'4)	44'3 (3'6)	10'23
- 1 o más de una	97'8 (1'6)	93'6 (2'1)	95'2 (1'4)	55'7 (3'6)	10'23
- 6 o más de seis	97'8 (1'6)	55'0 (4'2)	71'6 (3'0)	9'4 (2'1)	16'99
- 11 o más de once	87'6 (3'5)	25'7 (3'7)	49'8 (3'3)	2'1 (1'0)	13'83
- más de 20	49'4 (5'3)	2'1 (1'2)	20'5 (2'7)	0'0 (--)	7'59
% alumnos cuyo texto contiene frases-ideas indicadoras de aprendizaje repetitivo					
- Ninguna	70'8 (4'8)	31'4 (3'9)	46'7 (3'3)	26'0 (3'2)	4'50
- 1 o más de una	29'2 (4'8)	68'6 (3'9)	53'3 (3'3)	74'0 (3'2)	4'50
- 6 o más de seis	2'2 (1'6)	11'4 (2'7)	7'8 (1'8)	14'6 (2'5)	2'21
Otras categorías					
- 1 o 2 frases	14'6 (3'7)	16'4 (3'1)	15'7 (2'4)	45'3 (3'6)	6'84
- Más de 2 frases	5'6 (2'4)	24'3 (3'6)	17'0 (2'5)	22'9 (3'0)	1'51 (n.s)
- Apartados en blanco o casi	2'2 (1'6)	9'3 (2'5)	6'5 (1'6)	24'0 (3,1)	5'02

Hemos de tener en cuenta que en un mismo alumno, en un mismo cuestionario, podemos encontrar respuestas que indican apropiación y aprendizaje repetitivo o de otras categorías, pero es importante resaltar que en los grupos experimentales los alumnos que responden sólo con indicadores de aprendizaje repetitivo son menores que en los de control (4'8 % frente a 44,3%), por lo que podemos concluir que éstos últimos adquieren en menor medida un aprendizaje significativo.

Como vemos no todas las respuestas de los alumnos que hemos valorado positivamente han sido iguales. Los alumnos del profesorado investigadora y colaboradores dan respuestas con más cantidad de matices y precisiones como se pueden comprobar en los ejemplos. Los alumnos de los profesores de control apenas un 55'7 % escriben frases con indicadores de apropiación, frente a un 95'2% de los alumnos grupos experimentales.

Gráfico C4 (b): nº ideas indicadoras de apropiación



Otro aspecto a valorar es el porcentaje de los alumnos experimentales que dejan las preguntas en blanco es cinco veces menor que los de los grupos de control. El número de alumnos que no contesta a algunas de las cuestiones de los grupos experimentales es muy pequeño, el 6,1 % frente al 24,0 % de los de control.

En todos los porcentajes referidos a la riqueza del texto, en las frases de apropiación hay diferencias significativas, salvo en el caso de escribir mas de 6 ideas de carácter repetitivo y las de más de dos frases de otras categorías.

Podemos afirmar, por tanto, que los alumnos y las alumnas que han estudiado temas cuya estructura responde a un intento de resolver situaciones problemáticas son capaces de identificar cuál es el problema que se trataba en el curso y él de cada uno o algunos de los temas, asumen las situaciones problemáticas y se sienten orientados y muestran, por tanto, mayores indicadores de apropiación que los grupos de control.

6.1.2.c) Efecto de la estructura problematizada en la comprensión conceptual al final de la Mecánica

Ya hemos presentado en el primer apartado de este capítulo los resultados del metaanálisis sobre cuatro temas específicos, elaborados y desarrollados con una estructura problematizada, que han sido objeto de investigación dentro de nuestro grupo. Hemos mostrado las grandes diferencias en la comprensión conceptual que sistemáticamente se produce entre los alumnos que han sido instruidos con una estructura problematizada y los que han sido instruidos habitualmente. Cada uno de esos temas ha sido objeto de una tesis doctoral, lo que ha permitido profundizar minuciosamente en el aprendizaje de los alumnos en cada uno de ellos. En cambio, aquí, sólo presentaremos los resultados obtenidos con un instrumento cuya finalidad era completar el estudio sobre la apropiación de los alumnos -realizado con los instrumentos anteriores- con evidencias sobre la comprensión de una de las barreras cuya superación constituyó la síntesis newtoniana: la existente entre los movimientos de los objetos "terrestres" y los "celestes" (Barrera Cielo/ Tierra, página 141). Se trata de aportar más evidencias, aún, de que el recuerdo relevante más de un mes después de finalizar la enseñanza de una gran síntesis -que acabamos de mostrar en el apartado anterior- no es sólo una cuestión "verbal" o "de costumbre y/o forma de redactar".

En el capítulo 3 (página 144 y siguientes), ya utilizamos este mismo instrumento para constatar *empíricamente* en qué medida uno de los grandes objetivos/ obstáculo que aparecía como fruto de la forma de planificar coherente con nuestro modelo de enseñanza (expuesta en el capítulo 2) era superado por la enseñanza habitual. En dicho estudio no solamente incluimos alumnos de enseñanza secundaria y Bachillerato, que habían recibido enseñanza sobre Mecánica, sino también profesores en formación (licenciados en Física, Química e Ingenierías, que estaban cursando el CAP) y profesores en activo. Recordemos el instrumento utilizado, y la red de análisis o estadillo para su valoración:

Este cuestionario se ha pasado en los últimos días del curso a alumnos de 4º ESO y 1º BACN (cursos donde se da la síntesis newtoniana) de grupos experimentales y de control y las respuestas fueron individuales, anónimas y sin límite de tiempo. A los alumnos de control las cuestiones se pasaron después de que hubieran tratado la parte de Mecánica correspondiente (no más de una semana después de haberse examinado). En el caso de la autora los cuestionarios se pasaron a finales de mayo, más de un mes después de acabar la Mecánica en 4º de ESO y, unos tres meses en 1º de BACN, ya que la Física, y por supuesto la Mecánica, se terminó en el primer cuatrimestre, finales de febrero.

Las respuestas de los profesores en formación se han obtenido, a lo largo de varios años, durante el desarrollo del CAP, y las de los profesores en activo de Física y Química de enseñanza secundaria en el desarrollo de cursos de formación.

Aunque disponemos del estudio pormenorizado de las respuestas, según el estadillo anterior, dada la intencionalidad de este estudio y la gran cantidad de instrumentos utilizados, sólo analizaremos los porcentajes de respuestas correctas según los claros criterios que se encuentran en dicho estadillo, sin precisar el tipo de respuesta errónea. En la **tabla 6.C5 (a)** se muestran dichos porcentajes.

En primer lugar, llama poderosamente la atención –como ya comentamos en el capítulo 3- el pequeño porcentaje de profesores de Física y Química en formación que ha superado la barrera Cielo/ Tierra. Sólo el 13'0 %! de los potenciales profesores de Física y Química de secundaria –todos ellos licenciados en Física, Química o ingenieros- conciben el movimiento de la piedra y la Luna como esencialmente idénticos, cuyas únicas diferencias son debidas al rozamiento y al distinto valor de sus velocidades respecto al centro de la Tierra. El análisis pormenorizado de sus respuestas, muestra que en su gran mayoría tienen una concepción espontánea errónea de fuerza que les “impide” admitir que a la Luna y a la piedra les está pasando “lo mismo”. Dicho de otra manera, piensan que si a la Luna y a la piedra lanzada les pasara lo mismo dinámicamente, sus movimientos no podrían ser como son: que estar en órbita girando en torno a la Tierra es debido a que a la Luna y a la piedra les ocurre algo esencialmente distinto. Se

trata, pues, de una versión actualizada de la barrera Cielo/Tierra aristotélica, que no deja dudas sobre que los futuros profesores –tras haber realizado una licenciatura científica- no pueden ser conscientes de lo que supuso la síntesis newtoniana. Es necesario resaltar que más del 37 % de este grupo utiliza la ley de la Gravitación Universal para apoyar sus razonamientos (*“como la distancia, d , es muy grande y está elevada al cuadrado en el denominador, la fuerza de atracción es despreciable y la Luna no cae”*). Aunque el porcentaje de respuestas correctas sea mayor en la cuestión sobre el paracaidista y el astronauta (20'0 %), una medida adecuada de una verdadera superación de la barrera Cielo/Tierra viene dada por el menor de los porcentajes de ambas cuestiones.

Igualmente sorprendentes, o más, son los resultados de los profesores en activo: sólo un 28'0 %, de 196, responden correctamente a la cuestión sobre la piedra y la Luna, y menos de un 43 % a la del paracaidista y el astronauta.

Ambos grupos nos sirven de referencia (más aún cuando los porcentajes han sufrido poca variación durante años, como puede comprobarse en Martínez Torregrosa, Doménech y Verdú (1993)) para apreciar en su justa medida los resultados de los alumnos de los grupos experimentales y los de control (que pertenecían a profesores voluntarios), así como la dificultad del cambio conceptual en la Mecánica.

TABLA 6.C5 (a) Efecto de la estructura problematizada en el recuerdo conceptual relevante (Barrera Cielo/ Tierra), después de la Mecánica

Cuestionario C5: Recuerdo relevante al final de una gran síntesis

- a) Indica semejanzas y diferencias entre el movimiento de un astronauta fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra, y el de una persona que se ha lanzado desde un avión (Sé tan preciso como puedas, escribe, utiliza dibujos, ...)
- b) Según la Ley de la gravitación Universal, $F = (G.M.m)/r^2$, una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde una cierta altura sobre el suelo, es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?

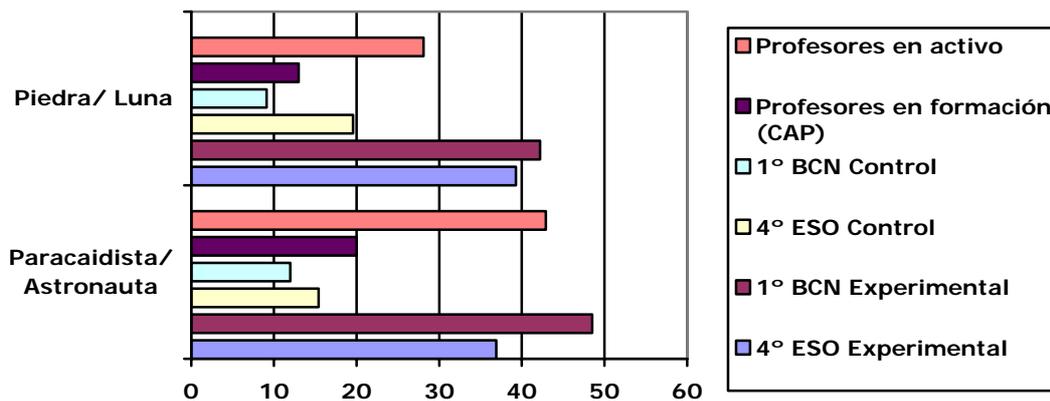
	Investigadora		Colaboradores		Total Exper.		Control			
	4° ESO N=49 % Sd	1° BCN N=27 % Sd	4° ESO N=119 % Sd	1° BCN N=37 % Sd	4° ESO N=168 % Sd	1° BCN N=64 % Sd	4° ESO N=214 % Sd	1° BCN N=133 % Sd	CAP N=409 % Sd	PROF. N=196 % Sd
C5 a) Paracaidista/ astronauta	57,2 (7,1)	70,4 (9,0)	28,6 (4,1)	37,8 (8,0)	36,9 (3,7) (1)	48,5 (6,2)	15,4 (2,7) (3)	12,0 (2,8)	20,0 (2,0)	42,9 (3,5)
C5 b) Piedra / Luna	73,5 (6,3)	44,4 (9,7)	25,2 (4,0)	40,5 (8,8)	39,9 (3,7)	42,2 (6,2) (2)	19,6 (2,7)	9,1 (2,5) (4)	13,0 (1,7) (5)	28,1 (3,2) (6)

Con t de Student, α_{13} , α_{14} , α_{15} , α_{24} y α_{25} hay diferencias significativas con un $\alpha < 0,001$, entre α_{26} $\alpha < 0,05$, no hay diferencias significativas entre α_{16}

En efecto, si nos fijamos, como hemos justificado, en el menor de los porcentajes de ambas cuestiones, vemos que:

- El porcentaje de respuestas correctas de los alumnos experimentales de 4º de ESO (36'9 %) duplica prácticamente el porcentaje de respuestas correctas de 4º de ESO y de 1º de Bachillerato de control (15'4 % y 12'0 % respectivamente); cuadruplica el de profesores en formación (13'0 %) y supera el de los profesores en activo (28'1 %). Las diferencias, utilizando la *t* de *Student*, son significativas con un nivel $\alpha < 0'001$, excepto con los profesores en activo con los que las diferencias no son significativas.
- Las diferencias son mayores aún, lógicamente, cuando comparamos los alumnos experimentales de 1º de Bachillerato (42'2 %) con el resto de los grupos. En este caso, incluso las diferencias con los profesores en activo son significativas, con $\alpha < 0'05$.

Gráfico 6.C5 (a)
 Recuerdo conceptual relevante después de la Mecánica
 (% respuestas correctas)



Si comparamos los resultados de los alumnos experimentales entre sí, encontramos unos porcentajes mayores en los alumnos de la investigadora. Ello puede ser debido, en nuestra opinión, a un mayor énfasis en la estructura problematizada de la Mecánica, cuya pregunta estructurante (¿Qué es lo que hace que un cuerpo se mueva de una u otra forma?, ¿cómo conseguir que un cuerpo se

mueva como deseamos?, (ver capítulo 3, p 125 y siguientes) favorece que se realicen frecuentes referencias a aspectos directamente relacionados con las barreras aristotélicas sobre el movimiento.

Podemos afirmar, pues, que los alumnos que han recibido enseñanza sobre la Mecánica con una estructura problematizada, manifiestan una comprensión conceptual de la síntesis newtoniana, de la superación de la barrera Cielo/Tierra, claramente mejor que los alumnos que han recibido una instrucción organizada de otras formas, que los futuros profesores de Física y Química, y mejor que los profesores en activo.

Tanto el meta-análisis realizado como los resultados obtenidos con este instrumento, muestran inequívocamente que la apropiación que produce el estar inmerso en un contexto problematizado no se refleja sólo en una mayor orientación, recuerdo relevante e implicación/ motivación, sino que va acompañada de una más profunda comprensión conceptual de lo tratado.

Una vez presentados y comentados los resultados del meta-análisis y los obtenidos con los cinco instrumentos que indagaban sobre la apropiación de los alumnos mediante cuestiones sobre los temas tratados, pasamos a presentar los resultados sobre la autopercepción de apropiación por los alumnos.

6.1.2 d) Efecto de la estructura problematizada en la autopercepción de apropiación en los alumnos

En los apartados anteriores hemos presentado evidencias que muestran – a través del análisis de las producciones de los alumnos ante preguntas sobre los contenidos enseñados- que los alumnos experimentales, en comparación con los que han seguido una enseñanza habitual, adquieren un mejor aprendizaje conceptual y se apropian en mayor medida de lo que se está tratando o se ha tratado, durante y al final de temas y de grandes síntesis. Ahora vamos a presentar y analizar los resultados obtenidos con instrumentos que se basaban en su propia percepción de apropiación (C6 y C7) o que buscaban indagar la medida

en que percibían que la forma de estructurar los temas y cursos les ayudaba a aprender (C8).

Presentamos en primer lugar los resultados obtenidos con los cuestionarios C6 y C7, cuyo enunciado no repetimos por encontrarse claramente en la **tabla 6.C6(a)** y en la **tabla 6.C7(a)**. En ambos cuestionarios los alumnos debían valorar de 0 a 10 su grado de acuerdo con las afirmaciones que se les presentaban. Dichas afirmaciones estaban relacionadas positiva o negativamente con indicadores de apropiación y con sus actitudes. El cuestionario C6 se pasó al final de curso, sin importar el tema que se estaba dando ni el curso (4º de ESO; 1º de BCN o 3º de BUP), y el cuestionario C7 se pasó a alumnos de un mismo curso (3º de ESO) al finalizar un mismo tema. En todos los casos se pasaron sin previo aviso y con tiempo suficiente.

El cuestionario C6 se ha pasado a un total de 34 grupos de alumnos: 10 grupos experimentales de seis profesores colaboradores y 24 grupos de control de 17 profesores que participaban en actividades de formación o en asociaciones educativas y que, aceptaron que pasáramos cuestionarios a sus alumnos. En algunos casos este instrumento se utilizó junto con otros de esta misma investigación.

Los resultados del cuestionario C6, se recogen en la **Tabla 6.C6(a)**, que se muestra en la página siguiente.

Como se observa, los resultados son, en todos los casos, favorables a nuestra hipótesis ($\alpha < 0,001$, en el peor de los casos): los alumnos que son instruidos organizando la enseñanza de temas y cursos según el modelo que hemos propuesto tienen una autopercepción de apropiación mayor que los alumnos de control y, también, actitudes más positivas hacia la Física y Química y su aprendizaje.

La consistencia en las respuestas de los alumnos es muy buena, encontrándose valoraciones opuestas en ítems contrarios [b) y l); g) y n); l) y m); f) y h) este último par en grupo experimental, no en el de control].

TABLA 6.C6 (a) Percepción de los alumnos sobre indicadores de apropiación y actitudes al final de un curso (*)

"Valora de 0 a 10 tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones (0 = nada de acuerdo; 10 = totalmente de acuerdo):"	T.Exper. N = 159	Control N= 422	t de la diferencia	Tamaño del efecto (TE)
	\bar{X} (S_d)	\bar{X} (S_d)		
a) A lo largo de los temas y de todo el curso me he sentido "orientado" (O, A)	7'3 (2'1)	6'1 (3'0)	5'42	0'46
b) Tengo sensación de haber aprendido "de verdad" (I/M, A)	7'2 (2'3)	5'9 (2'4)	6'00	0'55
c) Ha habido oportunidades para expresar lo que pensaba (A)	7'5 (2'0)	6'6 (2'8)	4'30	0'37
d) Mi comprensión sobre la Naturaleza ha mejorado claramente (I/M, A)	8'0 (2'0)	6'5 (2'6)	7'39	0'65
e) Me ha hecho reflexionar sobre ideas que tenía (I/M, A)	8'0 (2'1)	6'3 (2'6)	8'13	0'72
f) A la hora de la evaluación, lo que importaba de verdad era saberse bien las fórmulas (O, I/M, A, en negativo)	4'4 (3'0)	6'8 (2'6)	8'91	0'85
g) Ha aumentado mi interés por aprender Física y Química (I/M; A)	6'7 (2'9)	5'7 (2'8)	3'74	0'36
h) Se ha favorecido la comprensión de verdad, no repetir "cosas de memoria" (I/M; A)	8'4 (1'9)	7'0 (2'3)	7'46	0'66
i) Me he dado cuenta de los problemas que se planteaban los científicos y del modo de avanzar en su solución (I/M; A)	8'0 (1'7)	7'0 (2'5)	5'51	0'47
j) Creo que lo que he aprendido ha hecho que piense de un modo diferente que al principio de curso (I/M)	8'0 (2'3)	6'3 (2'5)	7'75	0'71
k) No hay una relación razonable entre el esfuerzo que he tenido que hacer y lo que he aprendido (I/M; A en negativo)	3'9 (2'9)	4'9 (2'9)	3'71	0'34
l) No he entendido nada "de verdad" (O, I/M; A, en negativo)	2'2 (2'4)	3'0 (2'9)	3'38	0'30
m) La forma de trabajar y evaluar ha ayudado a que fuéramos avanzando con comprensión (I/M; A)	8'1 (2'0)	6'5 (2'5)	8'00	0'71
n) Este curso ha contribuido a que me guste menos la Física y Química (A, en negativo)	2'4(3'0)	3'9 (5'4)	4'23	0'34
o) Me gustaría que la asignatura de Física y Química el próximo curso se desarrollara del mismo modo que éste (A)	7'7 (3'0)	5'9 (3'4)	6'21	0'56

(*) Tras calcular la t de Student para diferencias de medias de muestras independientes, en el caso más desfavorable, ítem l), $t = 3'38$, lo que implica que las diferencias a favor del grupo experimental es significativa con $\alpha < 0'001$.

Es necesario resaltar, no obstante, los aceptables resultados de los grupos de control, lo que apoya algo que ya comentamos anteriormente: la manera en que han sido seleccionados los profesores de control (en actividades de formación) hace que se trate de profesores implicados en la enseñanza. Esto se refleja en los ítems donde las diferencias han sido menores (el c) y el I)) que indican que no se trata de clases transmisivas, en las que los alumnos se limitan a copiar de la pizarra. Esta situación desfavorable para nuestra hipótesis da más valor a las diferencias significativas obtenidas en todos los apartados.

Aunque los resultados se comentan por sí solos, y *todos* expresan las actitudes de los alumnos, deseamos comentar expresamente los más directamente relacionados con las actitudes hacia el aprendizaje de la Física y Química y la forma de enseñar, una de las mayores preocupaciones actuales en la investigación didáctica (Osborne, Simons y Collins, 2003).

Tabla 6.C6 (b). Selección de valoraciones relacionadas con actitudes

	Grupo Experimental N = 159 $\bar{X} (S_d)$	Grupo de Control N = 422 $\bar{X} (S_d)$	Valor t Student de la diferencia	Tamaño del efecto
g) Ha aumentado mi interés por aprender Física (I/M; A)	6'7 (2'9)	5'7 (2'8)	3'74	0'36
k) No hay una relación razonable entre el esfuerzo que he tenido que hacer y lo que he aprendido (I/M; A en negativo)	3'9 (2'9)	4'9 (2'9)	3'71	0'34
n) Este curso ha contribuido a que me guste menos la Física y Química (A, en negativo)	2'4(3'0)	3'9 (5'4)	4'23	0'34
o) Me gustaría que la asignatura de Física y Química el próximo curso se desarrollara del mismo modo que éste (A)	7'7 (3'0)	5'9 (3'4)	6'21	0'56

Aunque los valores de la t , no dejan lugar a dudas sobre que las actitudes de los alumnos experimentales son mejores que las de control, podría pensarse razonablemente que la diferencia en la puntuación es poco importante como para

ser relevante desde el punto de vista educativo. Para ponderar esta situación, como ya advertimos en el diseño experimental (página 230), hemos utilizado el estadístico "*tamaño del efecto*", que nos indica el número de desviaciones estándar que se separan las medias de ambos grupos (la "*ganancia neta*" en número de desviaciones estándar), y cuyo valor $[d = (M_2 - M_1) / \sqrt{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2) / 2}]$ no se ve afectado por el tamaño de las muestras.

Como vemos, su expresión es semejante a una puntuación normalizada, es decir su interpretación es análoga a la de z . Al igual que un valor de $z = 0'4$ corresponde a un valor que es superior al 65 % de la población (el área de la gaussiana comprendida entre $-\infty$ y $0'4$), como señalan Black y Harrison (2000, p. 26) "un *tamaño del efecto* de $0'4$ significaría que el alumno medio involucrado en una innovación conseguiría el mismo logro que un alumno en el 35 % superior de aquellos no implicados en la innovación" (es decir, superior al 65 %). Estos mismos autores al referirse a investigaciones que han producido importantes mejoras comentan que "los tamaños del efecto típicos en las investigaciones analizadas están entre $0'4$ y $0'7$ " (en la página 230 encontramos la Table 1: Interpretations of effect sizes).

Con lo anterior se pueden analizar mejor la **tabla 6.C6** y la anterior. Podemos afirmar que (fijándonos en el ítem o) "Me gustaría que..." el alumno medio del grupo experimental (que no contiene alumnos de la investigadora) tiene una actitud positiva hacia la enseñanza recibida que correspondería al 30 % superior del grupo de control. Hemos de tener en cuenta, además, que todas las diferencias –sean grandes o pequeñas– son favorables al grupo experimental, de modo que son menores las actitudes negativas (por ejemplo "Este curso ha contribuido a que me guste menos la Física y Química", que recibe una valoración de $2'4$, tamaño del efecto $0'34$) y mayores las actitudes positivas (por ejemplo: "Ha aumentado mi interés por aprender Física y Química", con una valoración de $6'7$ y un tamaño del efecto de $0'36$). La diferencia, pues, entre las valoraciones otorgadas a ítems contrapuestos son mucho mayores en el grupo experimental, manifestando un efecto claro y consistente.

Una atención especial merece la valoración recibida por una proposición relacionada con la percepción de dificultad (ítem **l**) "No hay una relación razonable entre el esfuerzo que he tenido que hacer y lo que he aprendido", con la que, como vemos en la **tabla 6.C6 (b)**, los alumnos experimentales se muestran "poco de acuerdo", con diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo de control, que se muestra "neutro". Ya habíamos planteado en el capítulo 2 que una de las críticas que se han planteado a la metodología propuesta es que suponía "un mayor grado de dificultad para los alumnos". A la luz de los resultados obtenidos, no sólo no puede mantenerse dicha crítica, sino que los alumnos tratados ven mucho más razonable la relación entre su esfuerzo y lo que han aprendido que los de la enseñanza habitual.

Un cuestionario similar al **C6**, el **C7**, se ha pasado a alumnos de un mismo curso (3º de ESO) después de tratar el mismo tema (sobre la luz y la visión), a 8 grupos de tres profesores colaboradores y 9 grupos de dos profesores de control. En este caso, los profesores de control habían realizado un curso de formación sobre dicho tema y su enseñanza un año antes de pasar el cuestionario, pero no seguían una estructura problematizada en su instrucción. Como vemos en la **tabla 6.C7**, ambos grupos de alumnos estaban "bastante de acuerdo" (8'5 y 6'4) en que "a lo largo del tema habían tenido oportunidades para expresar lo que pensaban y resolver sus dudas" y los profesores de control no generaban rechazo hacia la asignatura (ítem **g**) (1'5 y 3,5 respectivamente). Los grupos de control reciben, por tanto, una enseñanza participativa, que no les genera rechazo alguno, por profesores implicados en actividades de formación. Todo ello da más valor a las diferencias encontradas.

En primer lugar, debe resaltarse la consistencia en las respuestas a los ítems opuestos (**a**) y **c**); **f**) e **i**); **g**) y **h**)) del grupo experimental, con unas diferencias en las puntuaciones mucho más amplias que las que se encuentran en el grupo de control, con las valoraciones negativas siempre por debajo de 3 y las positivas por encima de 7. Esto manifiesta unas percepciones y actitudes más claramente definidas que en el grupo de control.

TABLA 6.C7 Influencia de la estructura de la enseñanza en la percepción de apropiación y actitudes, de alumnos de 3º de ESO, después de un mismo tema

Valora de 0 a 10 tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones (0 = nada de acuerdo; 10 = totalmente de acuerdo)	Colaboradores	Control	t dif.	TE
	N =127 M (Sd)	N =173 M (Sd)		
a) El índice del tema y su desarrollo me ha permitido sentirme orientado, es decir, saber lo que estaba haciendo en todo momento y para qué lo hacía (O)	7'4 (2'1)	5'6 (2'9)	6'24	0'71
b) A lo largo del tema he tenido oportunidades de expresar lo que pensaba sobre lo que estábamos tratando y resolver mis dudas (A)	8'5 (2'1)	6'4 (2'8)	7'42	0'85
c) Tengo la sensación de que iba haciendo actividades, una tras otra, sin saber muy bien por qué las hacía (O y I/M en negativo)	2'4 (2'9)	4'7 (3'5)	6'21	0'72
d) La organización del tema sobre luz y visión me ha permitido aprender "de verdad" y no a repetir cosas de memoria (I/M)	8'3 (1'9)	5'7 (3'0)	9'17	1'04
e) La organización del tema me ha permitido darme cuenta sobre cómo trabajan los científicos y cómo avanzar en la elaboración de teorías (I/M; A)	7'5 (2'2)	5'8 (2'9)	5'77	0'66
f) Lo que hemos tratado es muy difícil, creo que no he entendido nada "de verdad" (O, I/M; A, en negativo)	1'5 (2'6)	3'9 (3'5)	6'81	0'78
g) Esta forma de organizar la enseñanza ha contribuido a que me guste menos la asignatura (A en negativo)	1'5 (2'6)	3'5 (3'4)	5'20	0'59.
h) Si el curso próximo eligiera la asignatura de FQ, me gustaría que los temas se organizaran como éste" (A)	8'0 (2'6)	5'3 (3'4)	7'79	0'89
i) Lo que hemos tratado no es fácil, pero la forma de trabajar y evaluar me ha ayudado a comprender mejor los conceptos (sobre la luz y la visión) (I/M; A)	8'4 (2'1)	6'0 (2'9)	8'31	0'95
j) Creo que lo aprendido en este tema ha hecho que cambie algunas de las ideas que tenía (sobre la luz y la visión) (I/M)	8'7 (2'1)	6'8 (2'8)	6'72	0'77

(*) Las diferencias son significativas a favor del grupo experimental con $\alpha < 0'001$, en todos los casos

Estas percepciones y actitudes son, además, más positivas en el grupo experimental de los profesores colaboradores que en los de control. Así, se encuentran más orientados [ítems a) y c)] y tienen mayor sensación de aprendizaje [ítems d), f) y j)] que los de control. En concreto, el alumno medio del grupo que ha sido instruido con una enseñanza problematizada se muestra tan poco de acuerdo con "haber estado haciendo actividades una tras otra sin saber muy bien por qué las hacía" como el 33 % mejor del grupo de control [ítem c)] y tiene una sensación de "haber aprendido de verdad" [ítem d)] como la que tiene el 14 % superior del grupo de control.

Respecto a la percepción de dificultad, algo muy importante en 3º de ESO, el alumno experimental medio se encuentra tan poco de acuerdo con el ítem f) ("lo que hemos tratado es muy difícil, creo que no he entendido nada de verdad") como lo está el 24 % mejor del grupo de control; y tan de acuerdo con "lo que hemos tratado no es fácil, pero la forma de trabajar y evaluar me ha ayudado a comprender mejor los conceptos", como el 16 % superior del grupo de control.

Hemos dicho que, felizmente, ninguna de las formas de enseñar de los profesores genera rechazo hacia la asignatura, pero no ocurre lo mismo con el entusiasmo. Así, las diferencias son significativas en el ítem h) ($\alpha < 0'001$): al alumno medio del grupo experimental le gustaría que, en el curso siguiente, la enseñanza de los temas fuera igual que la que ha recibido, en la misma medida que al 17 % superior del grupo de control.

En definitiva, podemos afirmar que la auto-percepción de apropiación y las actitudes hacia la asignatura, medida mediante valoración respecto a norma, sin comparar con experiencias pasadas, es mucho mejor en los alumnos que han recibido instrucción problematizada, independientemente del tema y curso en que se ha realizado el estudio. En particular, los alumnos de 3º de ESO tratados tienen una mayor sensación de orientación y aprendizaje, y actitudes más positivas hacia la asignatura que los no tratados.

Estos resultados van acompañados de una toma de conciencia de que la estructura problematizada les ayuda a aprender, como vamos a mostrar mediante

los resultados obtenidos con el instrumento **C8**. Tras una introducción aclaratoria de lo que se buscaba, en dicho cuestionario los alumnos debían valorar –como en los casos anteriores- en qué medida la forma en que se ha desarrollado la enseñanza ha contribuido a su orientación en momentos importantes del desarrollo de los temas (al principio, en el cambio de apartados o temas y al finalizar un tema). Se les pedía, además, justificar la valoración otorgada precisando aspectos concretos de la forma de enseñar. Recordemos el cuestionario **C8**:

Cuestionario C8. Percepción sobre la contribución de la forma de enseñar a la orientación en momentos importantes del desarrollo de los temas

Te pedimos por ello que valores de cero a diez las siguientes afirmaciones (0 significa que no estás nada de acuerdo con la afirmación y 10 que estás totalmente de acuerdo):

a) La forma en que se ha iniciado el curso y cada tema me ha ayudado a comprender el interés de lo que íbamos a estudiar: ____ (0)

Justifica brevemente tu valoración, indicando lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender el interés de lo que empezabas a estudiar:

b) Al pasar de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) he podido comprender por qué se seguía ese orden y no otro: ____ (0)

Justifica brevemente tu valoración, e indica lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender el orden en que se introducían los temas y los apartados de cada tema:

c) La forma de finalizar cada tema me ha permitido comprender lo que habíamos avanzado en lo que nos proponíamos al principio del mismo: ____ (0)

Justifica brevemente tu valoración, e indica, lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender los avances logrados:

Dicho cuestionario se ha pasado a 111 alumnos pertenecientes a 6 grupos de la profesora investigadora (21 de 3º de ESO; 56 de 4º y 34 de 1º de BCN), 143 alumnos de 7 grupos de 3 profesores colaboradores (38 de 3º de ESO; 85 de 4º y 20 de 1º de BCN), y a 110 alumnos de 6 grupos de 4 profesores de control (45 de 3º de ESO; 45 de 4º y 20 de 1º de BCN) a lo largo de 4 años. En todos los casos se pasó cerca del final del curso y sin límite de tiempo. Como en los casos anteriores, los profesores de control eran compañeros que frecuentaban actividades de formación compartidas por la investigadora.

Para analizar las diferencias hemos utilizado la *t* de *Student* y el tamaño del efecto. Para categorizar las justificaciones que los alumnos daban a las valoraciones, hemos utilizado el estadillo de la página 236 del capítulo 5. En el proceso de categorización de la justificación, nos hemos fijado, en primer lugar en si era razonable o no, es decir, si lo que se decía podía, en alguna manera, contribuir a que sucediera lo que se valora (si había alguna relación causa-efecto lógica). Sólo en caso afirmativo se procedía a determinar qué características concretas de la enseñanza recibida eran aludidas y la categoría a la que pertenecían. Aunque en el cuestionario se les pedía expresamente que justificaran su valoración precisando qué le podía haber ayudado o dificultado a conseguir el aspecto concreto, algunos alumnos han justificado total o parcialmente su valoración con expresiones actitudinales, del tipo “no me enteraba de nada”, “estaba perdido”, “el comienzo era muy interesante”, ..., que hemos considerado importantes y contabilizado como categoría aparte.

En la **Tabla 6.C8 (a)** se muestra el grado en que los alumnos experimentales y de control perciben que la organización de los temas les ha ayudado a estar orientados, y en la **tabla 6.C8 (b)** los aspectos más citados cuando tratan de justificar su valoración.

Tabla 6.C8 (a) Influencia de la forma de estructurar la enseñanza en la actitud hacia la enseñanza recibida. Percepción de los alumnos.

Grado en que los alumnos perciben que la forma de organizar los temas les ha ayudado (de 0 a 10) a:	Invest. N = 111 % (Sd)	Colab. N = 143 % (Sd)	T.Exper. N = 254 % (Sd)	Control N = 110 % (Sd)	t dif. (t > 2'56 ⇒ $\alpha < 0'001$)	TE
a) Comprender el interés de lo que se iba a estudiar (en el inicio)	7'8 (1'8)	7'3 (1'7)	7'5 (1'7)	5'6 (2'7)	6,86	0,84
b) Comprender el orden seguido (en el cambio de apartados o temas)	7'5 (2'4)	7'4 (1'9)	7'4 (2'1)	6'4 (2'8)	3,49	0,42
c) Comprender el avance conseguido (al final de cada tema)	8'0 (2'2)	7'6 (1'9)	7'8 (2'0)	6'3 (2'9)	4,84	0,60

Como podemos ver, en la **tabla 6.C8 (a)** los alumnos tratados valoran muy positivamente la contribución de la enseñanza a su orientación en momentos importantes del desarrollo de los temas. Los valores son casi siempre mayores de 7 y la desviación estándar, en relación a los grupos de control, es bastante pequeña, indicando que hay muy pocos alumnos que perciban de una manera neutra o negativa la enseñanza recibida.

En todos los casos, las diferencias con el grupo de control son altamente significativas ($\alpha < 0'001$) y los tamaños del efecto son grandes. En concreto, la contribución de la enseñanza a la orientación inicial (apartado a): comprender el interés de lo que se iba a estudiar) es valorada mucho más positivamente por los alumnos que han recibido una enseñanza problematizada que por los no tratados: un TE de 0'84 significa que el alumno medio del grupo experimental tiene una percepción que estaría en el 20 % superior de los alumnos de control.

TABLA 6.C8 (b) Influencia de la forma de estructurar la enseñanza en la actitud hacia la enseñanza recibida. Justificación de la valoración de los alumnos.

Aspecto aludido para justificar la valoración otorgada en los distintos apartados:	Investig. N = 111 % (Sd)	Colabor N = 143 % (Sd)	T. Exper N = 254 % (Sd)	Control N = 110 % (Sd)	t dif.
a) El inicio del curso y de cada tema me ha ayudado a comprender el interés de lo que se iba a estudiar					
Causas expresadas directamente relacionadas con la enseñanza problematizada:					
- Existencia de preguntas y problemas iniciales	40,5 (4,7)	35,6 (4,0)	37,7 (3,0)	7,3 (2,5)	5,90
- Existencia de un hilo conductor que da sentido a resúmenes /avances/ recapitulaciones	27,9 (4,3)	18,1 (3,2)	22,4 (2,6)	3,6 (1,8)	4,41
Otras causas expresadas no exclusivas de la enseñanza problematizada:					
- Forma de trabajo (grupos; se hacían actividades; ...)	32,4 (4,4)	16,1 (3,1)	23,2 (2,6)	2,7 (1,5)	4,78
- Justifica con actitud positiva	27,0 (4,2)	24,1 (3,6)	25,4 (2,7)	11,4(3,0)	3,00
- Justifica con actitud negativa	0,9 (0,9)	1,7 (1,1)	1,4 (0,7)	13,6(3,3)	4,86
b) Al pasar de un tema a otro he podido comprender por qué se seguía ese orden y no otro					
Causas expresadas directamente relacionadas con la enseñanza problematizada					
- Existencia de un problema	20.7 (3.8)	22.1(3.5)	21.5 (2.6)	0.0 (0.0)	5,27
- Se hacían recapitulaciones de los avances	42.3 (4.7)	30.2(3.8)	35.5 (3.0)	4.5 (2.0)	6,18
Otras causas expresadas no exclusivas de la enseñanza problematizada					
- Se seguía un orden lógico	44.1 (4.7)	39.6(4.1)	41.6 (3.1)	32.7(4.5)	1,6 (n. s.)
c) La forma de finalizar cada tema me ha permitido comprender lo que habíamos avanzado					
Causas expresadas directamente relacionadas con la enseñanza problematizada					
- Relacionada con la realización de revisiones o recapitulaciones	70.2 (4.3)	67.1 (3.9)	68.5 (2.9)	24.5(4.1)	7,75
Otras causas expresadas no exclusivas de la enseñanza problematizada					
- Justifica con actitud positiva	27,9 (4,3)	24,2 (3,6)	25,8 (2,7)	9,1 (2,7)	3,61
- Justifica con actitud negativa	5,4 (2,1)	3.5 (1.5)	4.3 (1.3)	22.7 (4.0)	5,41
- Se hacían experimentos, prácticas	6,3 (2,3)	7.4 (2.2)	6.9 (1.6)	0.9 (0.9)	2,39

En la **tabla 6.C8 (b)** se ve que un 37'7 % de los alumnos experimentales, aluden espontáneamente a la existencia de preguntas o problemas iniciales y/o a la existencia de recapitulaciones (22'4 %) para justificar su valoración. Los porcentajes que se refieren a este tipo de actividad en los grupos de control son, lógicamente, muy pequeños. Además, son significativas las diferencias en los porcentajes que, espontáneamente, acompañan su valoración con una actitud positiva o negativa (25'4 % y 1'4 % en los experimentales, frente a un 11'4 % y 13'6 % en los de control, respectivamente).

La diferencia no es tan grande cuando valora la contribución de la enseñanza para comprender por qué se seguía un orden y no otro (7'4 % frente a 6'4 %): la valoración del alumno medio experimental estaría por encima del 67 % de la de los alumnos de control. Esto puede ser debido a que los alumnos de control sí que encuentran algo para justificar su valoración (**Tabla C8 (b)**): un 32'7 % alude a que "se seguía un orden lógico". Los alumnos experimentales también aluden a este aspecto (un 41'6 %), pero, además, un 21'5 % se refieren a la existencia de un problema a modo de hilo conductor, y un 35'5 % justifican su valoración porque se realizaban recapitulaciones "del avance en el problema" (al cambiar de tema o de apartado dentro de un tema).

La valoración más alta del grupo experimental la recibe la forma de finalizar los temas (un 8 en el grupo de la investigadora) (**Tabla C8 (a)** apartado c)). En este caso, el tamaño del efecto es tal que la valoración media del grupo experimental es superior al 73 % de las valoraciones dadas en el grupo de control. La justificación de la valoración (**Tabla C8 (b)** apartado c)). es muy clara para los alumnos experimentales: el 78'5 % se refiere a la realización de recapitulaciones, frente a un 24'5 % del grupo de control que lo hace (normalmente bajo el término de "revisiones", "sesiones de dudas" o equivalentes). En este apartado un 25'8 % y un 4'3 % de los alumnos experimentales han acompañado espontáneamente su valoración con una expresión de actitud positiva y negativa respectivamente. En el caso del grupo de control, estos porcentajes se invierten: 9'1 % y 22'7 %. Las diferencias son significativas ($\alpha < 0'001$) y claramente favorables a los alumnos tratados.

A continuación ponemos distintos ejemplos de catalogación de justificaciones. Como hicimos en el **C2**, **C3**, **C4** a la hora de valorar las respuestas de los alumnos hemos elaborado distintas categorías, recogida en el estadillo de análisis del capítulo 5.

Fragmento nº 1

Texto del alumno: He pogut comprendre, perquè deien el que havia estudiat, el que anaven a estudiar i en quin ordre y perquè.

Valoración: justificación razonable, denota orientación y actitud positiva

Fragmento nº 2

Texto del alumno: Porque planteando preguntas al principio de cada tema despertaban nuestras dudas y curiosidades nos parecía más interesantes y probablemente más útil.

Valoración: Justificación razonable, implicación/ motivación

Fragmento nº 3

Texto del alumno: La forma de iniciar cada tema, es muy interesante y me ha ayudado a comprender que va a tratar el tema y que se va a estudiar

Valoración: Justificación razonable, implicación/ motivación, actitud positiva

Fragmento nº 4

Texto del alumno: La forma de finalizar cada tema me ayudado a plantearme nuevas preguntas.

Valoración: Justificación razonable, implicación/ motivación, actitud positiva

Fragmento nº 5

Texto del alumno: Si que me ha ayudado a estudiar porque teníamos un índice donde nos explicaba lo que vamos a hacer

Valoración: Justificación razonable, implicación/ motivación, actitud positiva, se refiere a aspectos genuinos de la enseñanza problematizada

Fragmento nº 6

Texto del alumno: Porque como se ha ido rápido no he logrado entender la finalidad de cada tema ni me ha quedado claro su contenido.

Valoración: Justificación razonable, desorientación, se puede considerar que expresa una actitud negativa

Fragmento nº 7

<i>Texto del alumno: Depende del contenido del tema</i>

Valoración: No podemos considerarlo como una justificación
--

Fragmento nº 8

<i>Texto del alumno: Porque en parte me ha ayudado</i>
--

Valoración: No podemos considerarlo como una justificación
--

Es necesario añadir que el porcentaje de alumnos que han escrito más de 5 frases-idea con sentido al expresar su justificación ha sido del 78'7 % en el grupo experimental (el 85'6 % en el grupo de la investigadora) y de sólo el 34'5 % en el grupo de control, lo que, en nuestra opinión, es un indicador de que los alumnos tratados tienen una clara conciencia de que la forma de enseñar les ayuda a aprender y pueden precisar las razones de su valoración.

Los resultados –obtenidos mediante valoración respecto a norma de muestras independientes- apoyan claramente la conclusión de que los alumnos que han recibido una enseñanza con una estructura problematizada tienen una actitud positiva respecto a dicha enseñanza: perciben, y son capaces de precisar el porqué, que dicha forma de enseñar les ayuda a aprender.

No obstante, este apoyo empírico parcial ha sido completado con los instrumentos que estaban diseñados para los alumnos de grupos tratados, a los que –lógicamente- se les podía preguntar directamente por aspectos que no tendrían sentido para alumnos no tratados.

Pasamos, pues, a aportar más evidencia sobre el efecto de una enseñanza por investigación dirigida en la percepción de apropiación y actitudes de los alumnos. En el siguiente apartado analizaremos las respuestas y valoraciones dadas a las cuestiones que solo se han pasado a los alumnos de los profesores investigadores.

6.1.2 c) Resultados sobre la percepción de apropiación y actitudes obtenidos con instrumentos para grupos de alumnos que han recibido una enseñanza problematizada.

Como avanzamos en el diseño experimental (Capítulo 5, p.237) hemos pasado cuestionarios confeccionados sólo para grupos experimentales, con los que ha sido posible completar y precisar los resultados obtenidos con instrumentos comunes a grupos tratados y no tratados.

En primer lugar presentaremos las valoraciones no comparativas obtenidas con los cuestionarios **C9** y **C10**, cuyos enunciados no recordamos por encontrarse en las tablas que utilizaremos. Posteriormente presentaremos los resultados obtenidos con el instrumento **C11** ("elección de la asignatura con mayor sensación de aprendizaje y características de la misma"), con el **C12** (valoración comparativa entre la enseñanza problematizada y la habitual, por alumnos tratados) y, por último, el recuerdo espontáneo de características útiles e interesantes de la enseñanza recibida (**C13**).

El **C9** se ha pasado a tres grupos (1 de 4º de ESO, 2 de 1º de Bachillerato de Ciencias) de alumnos de la investigadora y a un grupo numeroso (más de 70 estudiantes habitualmente en la clase) de estudiantes de Magisterio de la asignatura "Ciencias de la Naturaleza y su Didáctica" del director de esta investigación. Se ha pasado al final de las asignaturas, de una manera individual y anónima, formando parte de un conjunto más amplio de preguntas (las afirmaciones que se presentan en la tabla no estaban en orden sucesivo) que, por supuesto, se impartieron con una estructura problematizada como la propuesta.

Un aspecto de gran interés es que los alumnos de secundaria que han respondido al cuestionario eran **todos** los alumnos que estudiaban Física y Química en el único Instituto de la ciudad (Pinoso, Alicante) en un mismo año. En el caso de los alumnos universitarios, el interés añadido es la gran heterogeneidad en su formación (alumnos que habían cursado el Bachillerato de Letras (más de la mitad); de Ciencias, Mixto; "Mayores de 25 años" y "Módulos de FP") y el gran tamaño del grupo-clase (81).

Tabla 6.C9 Percepción de los alumnos experimentales de la influencia de la estructura problematizada en su aprendizaje.

Grado de acuerdo (de 0 a 10) con la afirmación de que la estructura problematizada de los temas y el curso:	Profesores investigadores		
	Magisterio	Secundaria	Total
	N=81	N=55	N=136
	\bar{X} (S_d)	\bar{X} (S_d)	\bar{X} (S_d)
a) Contribuye a la implicación de los alumnos haciendo que aprendan "de verdad" (I/M)	8'1 (1'7)	8'1 (1'4)	8'1 (1'6)
b) Ha favorecido que me diera cuenta de si comprendía "de verdad" cuando estudiaba, pues podía valorar si había avanzado o no en lo que se pretendía. (I/M, O)	7'4 (1'7)	8'0 (1'3)	7'6 (1'6)
c) La estructura problematizada de los temas y el curso ha hecho que estuviera "orientado", que supiera qué estaba haciendo, por qué y para qué (O)	8'0 (1'6)	8'0 (1'5)	8'0 (1'6)
d) No me daba cuenta de la "estructura", realmente la sensación que he tenido es la de "hacer actividades", una tras otra. (O)	3'2 (2'8)	3'0 (2'6)	3'1 (2'7)
e) Han existido las oportunidades para que se pueda aprender significativamente-(I/M, A)	7'6 (2'0)	8'6 (1'3)	8'0 (1'8)
f) Independientemente del examen, tengo sensación personal de "avance" de haber aprendido "de verdad" -(A)	8'0 (1'7)	8'7 (1'4)	8'3 (1'6)

Si admitimos que una valoración de 7 a 10 significa que se está de bastante a totalmente de acuerdo con la afirmación realizada y de 3 a 0 de muy poco a nada de acuerdo, los resultados se interpretan por sí solos. Simplemente resaltar la actitud positiva hacia la enseñanza recibida de, en el caso de secundaria, *todos* los alumnos que estudiaban Física y Química en la ciudad. En el caso de los alumnos universitarios cabe resaltar que se trataba de una clase que, en ese momento, tenía 81 alumnos.

La consistencia de la percepción positiva hacia la enseñanza problematizada de los alumnos universitarios –futuros profesores de enseñanza primaria- ha sido puesta a prueba con el cuestionario C10, que se ha pasado durante cuatro cursos académicos, entre 1996 y 2001, al final de la asignatura cuatrimestral "Conocimiento del Medio Natural" que se impartió con una estructura de problema

como la propuesta, en la Universidad de Alicante. Dicha asignatura se imparte en las especialidades de "Lengua Extranjera" y "Educación Musical", y las clases suelen ser habitualmente muy numerosas. A pesar de ello, los temas tratados se desarrollaron mediante programas-guía de actividades estructuradas a partir del tratamiento de situaciones problemáticas de interés. Uno de los temas fue sobre el modelo Sol/ Tierra, cuya estructura hemos presentado en el capítulo 3, página 108. Los resultados obtenidos a lo largo de cuatro años se muestran en la **tabla 6.C10**.

Tabla 6.C10 Consistencia en la percepción de los alumnos sobre la influencia de la estructura problematizada en su aprendizaje

Valora de 0 a 10 tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones (0 = nada de acuerdo; 10 = totalmente de acuerdo)	96/97 N = 59 \bar{X} (S_d)	97/98 N = 81 \bar{X} (S_d)	98/99 N = 61 \bar{X} (S_d)	2000/01 N = 81 \bar{X} (S_d)
b) La organización del curso y los temas como problemas contribuye a la implicación de los alumnos, haciendo que se aprenda "de verdad" (I/M, A)	8'4 (1'1)	8'5 (1'2)	8'3 (1'2)	8'0 (1'6)
c) La metodología empleada ha sido coherente con lo desarrollado sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (I/M, A)	8'0 (1'3)	8'1 (1'2)	8'3 (1'2)	7'7 (1'8)
d) Han existido oportunidades adecuadas para que se pueda aprender significativamente (I/M, A)	7'9 (1'4)	7'9 (1'3)	8'2 (1'2)	7'6 (2'0)
e) Tengo sensación personal de "avance", de haber aprendido "de verdad" (A)	7'9 (1'2)	7'9 (1'5)	8'4 (1'2)	7'9 (1'7)
f) Lo tratado en esta asignatura es importante para la formación inicial de un maestro de primaria	8'6 (1'2)	8'7 (1'2)	8'6 (1'0)	7'7 (2'2)
g) El cuaderno de trabajo es útil para aprender (debe mantenerse)	8'9 (1'1)	9'0 (1'0)	9'0 (1'1)	9'1 (1'2)
h) Las recapitulaciones problematizadas ayudan a estudiar y aprender (debe mantenerse) (I/M; A)	8'4 (1'7)	8'0 (2'0)	8'7 (1'3)	8'3 (2'2)

Es necesario resaltar la reiteración de valoraciones elevadas y la escasa dispersión de las mismas (lo que indica que no genera rechazos extremos, pero sí actitudes positivas extremas), a pesar de que la formación de los alumnos es, mayoritariamente “de letras”, y que están cursando especialidades muy alejadas de una “orientación científica”.

El tipo de muestras con las que se han obtenido los resultados de **C9** y **C10** – todos los alumnos de una ciudad; todos los alumnos que cursaban especialidades no científicas, con formación muy heterogénea, y en clases muy numerosas- son un claro apoyo a que cuando la enseñanza de las ciencias se organiza con una estructura problematizada, favorece, en mayor medida que otras formas de organización, el aprendizaje y las actitudes positivas de los alumnos, independientemente del tema o nivel educativo en que se encuentren.

Esta afirmación recibe más apoyo cuando los propios alumnos tienen la oportunidad de valorar comparativamente con la enseñanza habitual. Éste era el objetivo de los instrumentos **C11** y **C12**. Recordemos que se trataba de una serie de dos cuestionarios que se han pasado en situación “casi ciega”: en el **C11** los alumnos no podían asociar el enunciado con la asignatura experimental o con el profesor investigador y, una vez contestada, cuando se les pedía la valoración comparativa, **C12**, el profesor no sabía las asignaturas que habían elegido. A otro grupo de alumnos de la misma asignatura se les pasó únicamente la cuestión abierta **C13**.

C11 Influencia de la estructura problematizada en las actitudes de los alumnos. Elección de la asignatura con mayor sensación de aprendizaje y sus características

Te pedimos que selecciones la asignatura o asignaturas (un máximo de dos) en las que tienes mayor sensación de haber aprendido de verdad. Señala las características de la forma de organizar los contenidos y del desarrollo en la clase de estas asignaturas, que creas que más han contribuido a favorecer el aprendizaje

Cuadro 5.14 Estadillo para valorar los cuestionarios C11

Asignatura elegida: 1º lugar

2º lugar

- Indica aspectos básicos y genuinos de la estructura problematizada como interesantes o útiles, tales como:
 - Hace referencia a que la forma en que se ha iniciado el curso y cada tema le ha ayudado a comprender el interés de lo que se iba a estudiar.
 - Hace referencia expresa a alguna actividad realizada al inicio del curso o tema que le ayude a estar orientado Alude a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y tema,
 - Hace referencia a cómo se pasa de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) que permita apreciar que ha comprendido por qué se seguía ese orden y no otro.
 - Hace referencia a que las recapitulaciones, la forma de finalizar cada tema, le haya permitido comprender lo que se ha avanzado en el curso y en el tema.

- Indica aspectos básicos, pero no exclusivos de la estructura problematizada, como interesantes o útiles, tales como:
 - Hace referencia a aspectos no relacionados exclusivamente con la estructura problematizada (como p. ej.: se ha trabajado en grupos)
 - Identificamos posibles referencias negativas

Esta cuestión se pasó en tres grupos de estudiantes universitarios de Magisterio (1 grupo de 1º de la especialidad de Enseñanza Primaria, 1 grupo de 2º de la especialidad de Lengua extranjera y a 1 grupo de 3º de la especialidad de Educación Musical) de las asignaturas "Ciencias de la Naturaleza y su Didáctica" y "Conocimiento del Medio Natural", que se desarrollaron con una estructura problematizada como la propuesta.

Se pasó al final del cuatrimestre (en febrero), en la época en que se realizan las evaluaciones institucionales de las asignaturas. La persona que les presentó el cuestionario se hizo pasar por uno de los numerosos evaluadores que en dichas fechas entran en las clases. Una vez contestada se les pidió que doblaran la hoja y no escribieran más en ella y se les entregó el cuestionario para la valoración comparativa C12, cuyo enunciado era:

C12. Influencia de la estructura problematizada en la percepción de apropiación y actitudes de los alumnos (Segunda parte prueba “casi ciega”: Valoración comparativa)

En la asignatura (...), tanto la estructura del curso como la de cada uno de los temas que en él se han desarrollado han tenido una serie de características específicas. Algunas de ellas son:

1. Se ha comenzado planteando una situación problemática y el interés que puede tener tratar de avanzar en su solución
2. El índice se puede identificar como una posible estrategia lógica para avanzar y/o resolver el problema planteado inicialmente
3. Las actividades de enseñanza/aprendizaje se han desarrollado en un contexto hipotético
4. Se han realizado recapitulaciones periódicas para ver dónde se encontraba la clase con relación al problema planteado en cada tema y en el curso.

Creemos que esta forma de estructurar los temas y los cursos (“estructura como problema”) es distinta de la que habitualmente se utiliza en los libros de texto o en la enseñanza y deseamos conocer tu valoración de la misma. Por ello, te pedimos una valoración comparativa:

a.-

Valora (de 0 a 10) en qué medida se favorecen los siguientes aspectos con la forma de estructurar los temas y cursos	“ESTRUCTURA COMO PROBLEMA”	“ESTRUCTURA HABITUAL”
<ul style="list-style-type: none"> - Implicación e interés de los alumnos - Orientación (saber qué se está tratando, por qué y para qué, dónde se está,..) - Evaluación “con sentido” dentro del proceso (tomando conciencia de lo que se ha avanzado en el problema planteado, los obstáculos que se han debido superar, si se puede dar respuesta a algo que tenía interés, ..., frente a una evaluación para constatar si saben o no ... al final de la enseñanza con la finalidad de calificar) - El aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales - La aproximación a las formas en que se producen conocimientos científicos 		

b.- Expresa aspectos no recogidos en la valoración anterior y que, en tú opinión, muestren ventajas o inconvenientes de la “estructura de los cursos y temas como problemas” frente a otras “estructuras habituales” (utiliza el reverso si es necesario)

Los resultados de la elección de asignaturas han sido los siguientes:

TABLA 6.C11 Elección de asignaturas en las que tienen mayor sensación de aprendizaje (Alumnos experimentales)

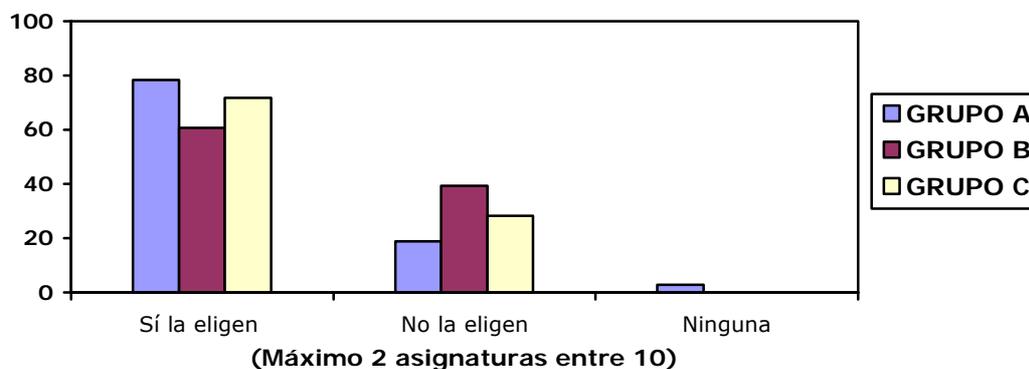
Elección de las 2 asignaturas en las que tienen mayor sensación de haber aprendido de verdad (entre más de 10)	Profesor investigador (Magisterio, 3 especialidades distintas)			
	Grupo A N = 69 % (Sd)	Grupo B N = 59 % (Sd)	Grupo C N = 59 % (Sd)	T Exper. N = 187 % (Sd)
% de alumnos que eligen la asignatura estructurada como problema	78'3 (4'9)	60'6 (5'1)	71'7 (5'8)	70'5 (3'3)
Solo esta asignatura	37'7 (5'8)	36'1 (6'1)	3'3 (2'8)	26'3 (3'2)
Junto con otra asignatura	40'6 (5'9)	24'6 (5'5)	68'4 (6'0)	44'2 (3'6)
% que no la eligen	18'8 (4'7)	39.4 (5'1)	28.3 (5'8)	28'4 (3'3)
% que no eligen ninguna asignatura	2'9 (1'6)	0.0 (-)	0.0 (-)	1'1 (0'8)
Han elegido la asignatura con estructura problematizada:				N = 132
				(%) (Sd)
Fracción de alumnos que se refieren a características directamente relacionadas con la estructura problematizada como causas de dicha elección (según criterios del estadillo 5.14)				55'3 (4'3)

Como vemos, el 70'5 % de los alumnos eligen nuestra asignatura como una de las dos en las que tienen mayor sensación de haber aprendido "de verdad". Teniendo en cuenta que se trata de alumnos con una formación muy variada y de especialidades muy alejadas de lo que supondría "una vocación científica", las actitudes generadas por la asignatura no pueden ser mejores.

Para valorar este resultado en su justo término, podemos añadir que más de la cuarta parte de los alumnos sólo elige nuestra asignatura, y que la siguiente asignatura más elegida, lo ha sido por el 18'5 % de los alumnos, y dos tercios de éstos también eligieron nuestra asignatura

En el gráfico siguiente se resumen los resultados tabla anterior:

Gráfico 6.C11 Porcentaje de alumnos, en tres cursos distintos, que eligen la asignatura con estructura problematizada como una de las dos en las que tienen mayor sensación de aprendizaje



Al analizar las respuestas a la cuestión abierta sobre qué características de las asignaturas elegidas han contribuido a favorecer el aprendizaje, con el estadillo presentado, el 55 % de los alumnos que han elegido nuestra asignatura se refieren a aspectos directamente relacionados con la estructura problematizada (existencia de un problema, estrategia que daba sentido a lo que se hacía: orientación, recapitulaciones problematizadas,...). No hemos contabilizado los alumnos que se refieren *únicamente* a aspectos que no son exclusivos de la estructuración como problema (como trabajo en grupos; hacer y discutir actividades en clase, por ejemplo).

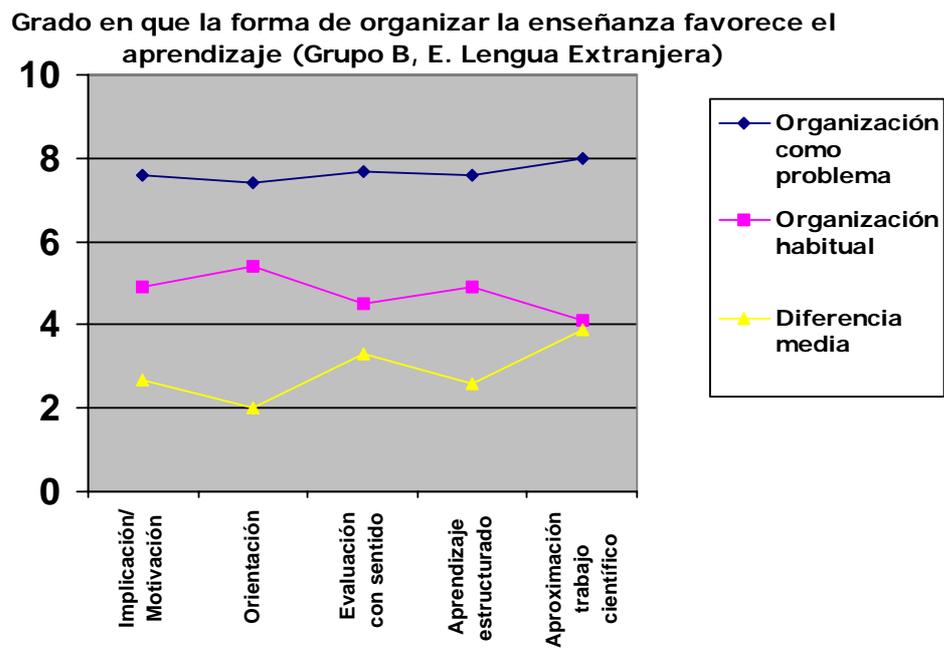
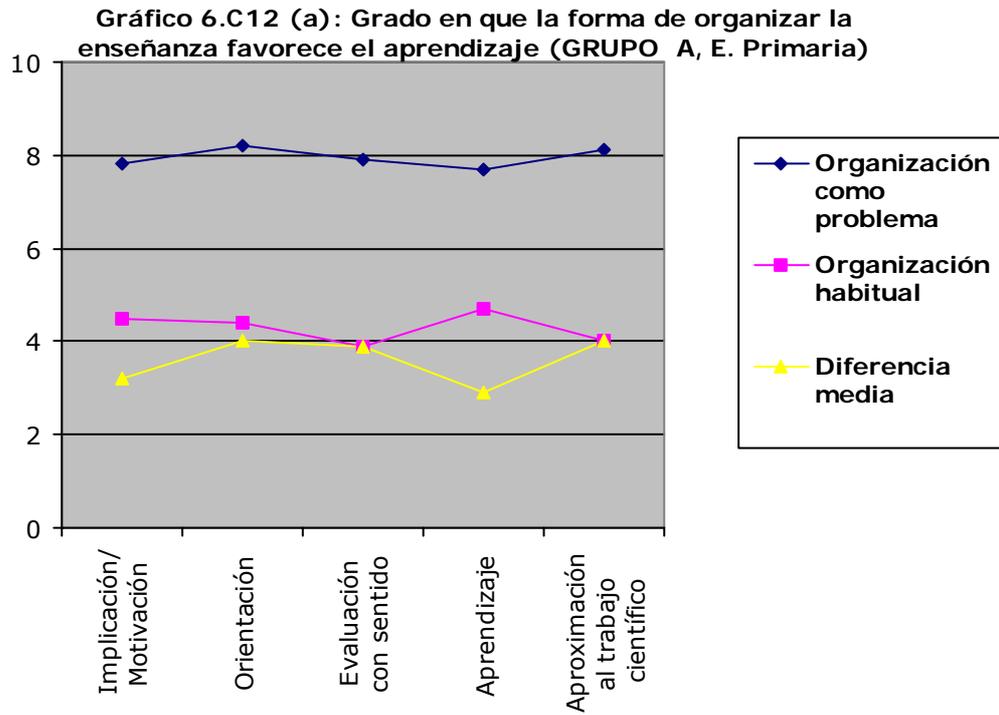
El 55 % de los alumnos que perciben nuestra asignatura como una de las dos en las que tienen mayor sensación de aprendizaje, consideran expresamente, pues, a la forma de organizar la enseñanza en torno a problemas como causa de dicho aprendizaje. El valor estadístico de este porcentaje en una pregunta abierta es difícil de establecer aisladamente, pero puede ser contextualizado al comparar con los resultados de los mismos alumnos cuando, después de contestar la cuestión abierta, se les pregunta muy directamente sobre lo mismo. Esto es lo que se hizo al pasar la valoración comparativa, C12, inmediatamente después de C11. Los resultados se muestran en la **tabla 6.C12(a)**

TABLA 6.C12(a) Percepción de los alumnos experimentales de la medida en que la estructura problematizada ayuda a aprender

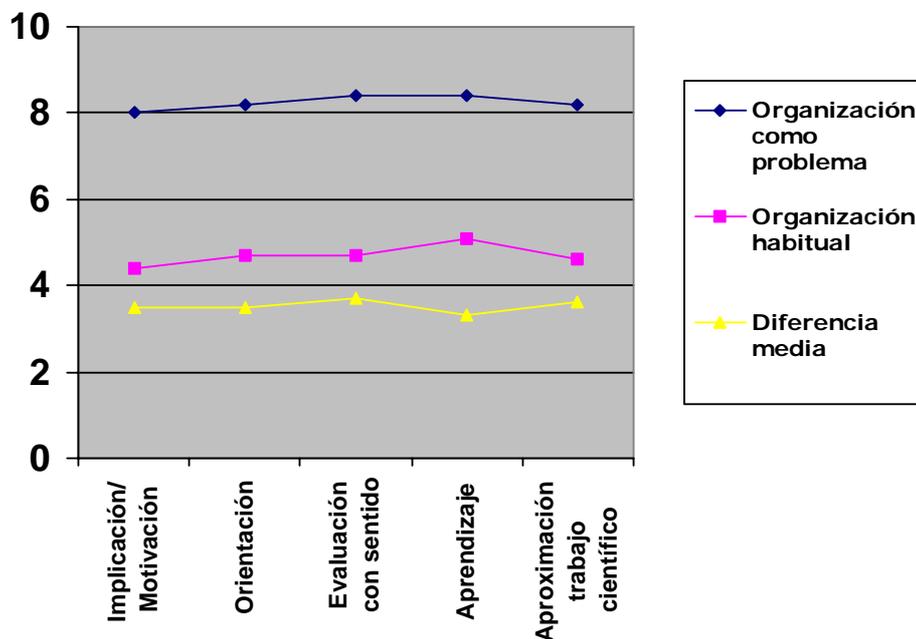
Valora de 0 a 10 en qué medida la forma de estructurar la enseñanza favorece los siguientes aspectos:	Grupo A (*)			Grupo B (*)			Grupo C (*)		
	N = 69			N = 59			N = 59		
	Estructura problema	Estructura habitual	Tamaño del efecto (TE)	Estructura problema	Estructura habitual	Tamaño del efecto (TE)	Estructura problema	Estructura habitual	Tamaño del efecto (TE)
	$\bar{x}(S_d)$	$\bar{x}(S_d)$	(TE)	$\bar{x}(S_d)$	$\bar{x}(S_d)$	(TE)	$\bar{x}(S_d)$	$\bar{x}(S_d)$	(TE)
- Implicación e interés de los alumnos	7'8 (1'6)	4'5 (1'5)	2'2	7'6 (1'3)	4'9 (1'2)	2'2	8'0 (0'9)	4'4 (1'3)	3'2
- Orientación (saber qué se está tratando, por qué y para qué, dónde se está,..)	8'2 (1'5)	4'4 (1'6)	2'4	7'4 (1'9)	5'4 (1'6)	1'1	8'2 (1'1)	4'7 (1'9)	2'3
- Evaluación "con sentido" dentro del proceso	7'9 (1'6)	3'9 (1'9)	2'3	7'7 (1'6)	4'5 (1'6)	1'4	8'4 (1'1)	4'7 (1'5)	2'8
- El aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales	7'7 (1'6)	4'7 (1'7)	1'8	7'6 (1'2)	4'9 (1'3)	2'1	8'4 (1'2)	5'1 (1'3)	2'5
- La aproximación a las formas en que se producen conocimientos científicos	8'1 (1'7)	4'0 (2'2)	2'1	8'0 (1'3)	4'1 (1'9)	2'4	8'2 (1'3)	4'6 (1'5)	2'5

(*)Tras calcular la t de Student para diferencias de medias de muestras dependientes, en el caso más desfavorable $\alpha < 0'001$.

Es necesario resaltar la reiteración de las diferencias a favor de nuestra hipótesis en los tres grupos de alumnos universitarios de especialidades diferentes. Las diferencias en las valoraciones medias son, además, enormes como se muestra en los gráficos para cada uno de los grupos (gráficos 6.C12 a; b y c).



Grado en que el aprendizaje se ve favorecido por la forma de estructurar la enseñanza (Grupo C, E. Educación Musical)



Como se muestra en la **tabla 6.C12(a)** (página 344) las diferencias en el tamaño del efecto son también muy grandes. En el peor de los casos, en el aspecto de orientación del grupo B (especialidad de Lengua Extranjera), la valoración media que recibe la estructura problematizada se separa en 1'1 desviaciones estándar de la valoración media que recibe la estructura habitual. En la mayor parte de los casos, el *TE* es mayor de 2, llegando a superar el 2'5 (especialmente en el grupo C –tercer curso de la especialidad de Educación Musical).

Podemos afirmar que todos los alumnos universitarios que pueden comparar distintas formas de organizar la enseñanza (“problematizada” versus “habitual, otras”) valoran en un grado mucho mayor que la estructura como problema les ayuda a aprender.

En resumen, el 70 % de los alumnos de tres grupos de especialidades distintas eligen nuestra asignatura como una de las dos en que tienen “mayor sensación de haber aprendido “de verdad”, y todos perciben que dicha forma de organizar la enseñanza favorece en mucha mayor medida que otras la implicación, orientación, evaluación con sentido, el aprendizaje rico y estructurado y la familiarización con

el trabajo científico (con $\alpha < 0'001$ en todos los casos y TE habitualmente mayores que 2).

No obstante, para saber cómo percibían la organización como problema aquellos que no habían elegido la asignatura experimental, hemos realizado un estudio separando las valoraciones comparativas dadas por estos alumnos y por los que sí la han elegido, uniendo los grupos B y C. Los resultados se muestran en la **tabla 6.C12 (b) 348**).

¡Las diferencias a favor de la estructura problematizada son significativas a nivel estadístico (con $\alpha < 0'01$) incluso en aquellos alumnos que no la han seleccionado entre las dos en las que tienen mayor sensación de aprendizaje! Eso significa que perciben que dicha forma de organizar la enseñanza es mejor que otras, aunque dada su formación y especialidad (se trata de futuros profesores de Lengua Extranjera y de Educación Musical de Enseñanza Primaria), es en otras asignaturas –muy variadas y alejadas de la formación científica– donde tienen mayor sensación de aprendizaje. En todo caso, los resultados muestran que, aún así, no genera rechazo sino al contrario: es valorada mucho mejor que otras formas de organizar la enseñanza.

Desde el punto de vista didáctico, los TE son importantes en ambos grupos, excepto (teniendo en cuenta que se trata de datos dependientes, dados por la misma persona) en la “Orientación” que sólo es 0'6 frente a 2'6 en los alumnos que han elegido la asignatura. Esto puede explicarse por la existencia –según la experiencia de varios años del director de esta investigación– de un grupo no pequeño de alumnos de Magisterio que, *desde el primer día de curso*, no asisten a clase o lo hacen muy irregularmente.

Tabla 6.C12 (b) Comparación entre valoraciones dadas por los alumnos que NO/ SÍ han elegido la asignatura con estructura problematizada entre las dos en que tienen mayor sensación de aprendizaje (Grupos B y C)

Valora de 0 a 10 en qué medida la forma de estructurar la enseñanza favorece los siguientes aspectos:	Alumnos que NO la han elegido (N = 39)				Alumnos que SÍ la han elegido (N = 79)			
	Estructura como problema	Estructura habitual	Diferencias (*)	Tamaño del efecto (TE)	Estructura como problema	Estructura habitual	Diferencias (*)	Tamaño del efecto (TE)
- Implicación e interés de los alumnos	7'0 (1'8)	4'9 (0'9)	2'1 (2.2)	1'5	8'1 (1'0)	4'7 (1.4)	3'3 (0'9)	2'8
- Orientación (saber qué se está tratando, por qué y para qué, dónde se está,..)	6'7 (1'9)	5'4 (2'4)	1'3 (2'4)	0'6	8'4 (0'9)	4'9 (1'7)	3'5 (2'0)	2'6
- Evaluación "con sentido" dentro del proceso	7'3 (1'2)	5'0 (0'9)	2'2 (1'6)	2'2	8'7 (1'3)	4'1 (1'7)	4'6 (2'3)	3'0
- El aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales	7'3 (1'2)	5'0 (1'0)	2'2 (1'6)	2'2	7'8 (1'1)	4'4 (1'0)	3'4 (1'7)	3'4
- La aproximación a las formas en que se producen conocimientos científicos	7'8 (1'5)	4'2 (1'9)	3'6 (1'9)	2'4	8'1 (1'0)	4'0 (1'7)	4'1 (2'6)	2'9

(*)Tras calcular la t de Student para diferencias de medias, en el caso más desfavorable $\alpha < 0'01$

Es lógico, pues, que el menor TE aparezca en la orientación de los alumnos que no eligen la asignatura entre las que tienen mayor sensación de aprendizaje. Se trata del reconocimiento, en el nivel universitario, de que asistir a clase “sirve de mucho”, al menos cuando ésta se organiza de la forma que proponemos en este trabajo.

Precisamente esta posibilidad de “perder el hilo” es una de las pocas desventajas citadas por los alumnos cuando señalan –lo han hecho muy pocas– ventajas o inconvenientes de la “estructura de los cursos y temas como problemas” frente a otras “estructuras habituales”. Los comentarios abiertos que han acompañado la valoración comparativa son escasos como para ser de interés estadístico, siendo mucho más frecuentes las ventajas que los inconvenientes. Incluimos a continuación los inconvenientes más citados:

- *“Un inconveniente es que lleva mucho tiempo y requiere que el alumno haga el trabajo porque si no el tema no avanza. Tiene que saber una cosa para poder entender la siguiente y relacionarlas”*
- *“Lleva mucho tiempo elaborar el cuaderno de clase, con las recapitulaciones”*
- *“El ritmo es lento, porque el grupo es grande”.*
- *“Si faltas un día a clase pierdes el hilo”*
- *“Es mucho trabajo, hace pensar”.*

Y algunas de las ventajas más citadas (textualmente):

- *“Las ventajas que tiene es que como es muy práctico y tienes que relacionar las cosas aprendes más. No se te olvidan los datos porque los estás utilizando siempre”.*
- *“Descubrimos el aprendizaje nosotros mismos. Hacemos el esfuerzo de pensar y algo que uno aprende por sí mismo no es un aprendizaje repetitivo y mecánico sino más rico, duradero y significativo. En las estrategias habituales la mayoría de las veces o en todos los casos es un aprendizaje mecánico en el que no nos enseñan a pensar ni tampoco nos explican como lo han deducido. Es un aprendizaje efímero y no significativo”.*

- *“Lo hacemos todo por nosotros mismos y podemos aprender de nuestros propios errores”*
- *“No tienes que estudiar de memoria, sino razonar y relacionar las cosas que ya sabes”.*
- *“Asignaturas de este tipo tendrían que durar más de un cuatrimestre. Luego tenemos otras que no vale la pena y no nos enseñan nada”*
- *“Ventajas: reconocimiento del alumno, valoración de la asistencia a clase, conocimiento de los conceptos claros, sensación de que no se olvidan”*
- *“Creo que se aprende mucho más con la estructura de los cursos y temas como problemas, porque producen más motivación en los alumnos y el aprendizaje que se realiza dura mucho más tiempo, no se olvida fácilmente”.*

En último lugar, para terminar con los resultados de los alumnos presentamos los obtenidos con una pregunta abierta, aislada, **C13**, que pedía a alumnos que habían cursado la asignatura de Física y Química de 1º de Bachillerato y de Conocimiento del Medio Natural en Magisterio que resaltarán características de la enseñanza que les habían parecido de mayor interés o utilidad.

Se trataba de ver el porcentaje de alumnos tratados que ante una pregunta indirecta, espontáneamente se referían a características de la estructura problematizada positivamente.

Cuestionario C13 Recuerdo espontáneo de características de la enseñanza recibida (Alumnos experimentales)

Acabas de terminar esta asignatura. Te pedimos que expreses qué características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos te han resultado de mayor interés y/o utilidad.

Se ha pasado al finalizar la asignatura a estudiantes de 1º de Bachillerato de la profesora investigadora y de alumnos de Magisterio de la asignatura de "Conocimiento del Medio Natural". Para valorar en qué medida las respuestas a esta pregunta abierta mostraban una percepción positiva sobre la forma organizar la enseñanza hemos utilizado los criterios ya presentados en el diseño experimental.

Para valorar las contestaciones de los alumnos hemos procedido como en los otros cuestionarios abiertos. Para poder entender mejor la tabla de resultados recordemos el estadillo diseñado en el capítulo 5 para valorar esta pregunta abierta.

Cuadro 5.14 Estadillo para valorar el cuestionario C13 (totalmente abierta)

<p>Consideraremos que percibe la estructura problematizada positivamente si:</p> <p>1. Indica aspectos básicos y genuinos de la estructura problematizada como interesantes o útiles, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La existencia de un problema o pregunta que organizaba la actividad y el aprendizaje - la forma en que se ha iniciado el curso y/o cada tema le ha ayudado a comprender el interés de lo que se iba a estudiar (genéricamente o con ejemplos) - existencia de un índice, o hilo conductor, con estructura de problema - realización de recapitulaciones, la forma de finalizar los temas o la forma en que se pasa de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) (normalmente asociada a la orientación y a la sensación de avance/ aprendizaje) - contexto hipotético-deductivo <p>2. Indica aspectos básicos, pero no exclusivos de la estructura problematizada, como interesantes o útiles, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El trabajo en grupos - La realización de experimentos o actividades prácticas

La cuestión se pasó de forma anónima e individual. Los alumnos de 1º de Bachillerato son todos los alumnos que cursaron dicha asignatura en dos cursos sucesivos, en el centro de la investigadora. Los resultados se muestran en la **tabla 6.C13**

Tabla 6.C13 Percepción de la estructura problematizada por alumnos experimentales (recuerdo espontáneo ante pregunta abierta)

	Magisterio	1º BCN
Porcentaje de alumnos de los profesores investigadores que ante una pregunta abierta, señalan aspectos de la estructura problematizada como útiles o interesantes	N = 58 % (Sd)	N = 33 % (Sd)
Hace referencia de forma explícita a los aspectos básicos de la estructura problematizada	56'9 (6'5)	60'0 (13'1)
- A los aspectos básicos y genuinos	34'2 (6'2)	26'7 (11'9)
- Sólo a aspectos básicos pero no exclusivos (grupos, actividades prácticas,..)	22'7 (5'5)	33'3(12'6)
No hacen referencia a la estructura	43'1 (6'5)	40'0 (13'1)

La interpretación de estos resultados debe ser realizada en el contexto de los anteriormente presentados. Hemos visto que sólo un 55 % de los alumnos que habían elegido la asignatura problematizada como una de las dos en las que tenía mayor sensación de aprendizaje, se referían a aspectos genuinos de dicha forma de organizar la enseñanza cuando se les preguntaba de forma abierta. Y también que todos los alumnos consideraban la estructura problematizada favorecía el aprendizaje en mucha mayor medida que otras formas (habituales) de organizar la enseñanza, cuando se les preguntaba de una manera directa y cuantitativa (valoración comparativa; y no comparativa respecto a norma).

Con ese contexto, podemos valorar positivamente los resultados de la **tabla 6.C13**: casi un 60 % de los alumnos experimentales, elegidos al azar, se refieren espontáneamente a aspectos característicos de la estructura problematizada positivamente.

Deseamos ilustrar dichos resultados con algunos fragmentos de las respuestas de los alumnos.

Alumnos de Magisterio:

- *“El método de enseñanza consiste en plantear problemas y después ir haciendo razonamiento para buscar posibles soluciones (Existencia de un problema, ambiente hipotético deductivo)”*
- *“En CCNN las clases están estructuradas de tal forma que nosotros nos implicamos en la clase. Los objetivos están claros y las clases son eficaces, al menos sabes lo que estás haciendo”. (Forma de trabajo; orientación- hilo conductor claro)*
- *“La estructura del problema permite generar interés y curiosidad por el tema”. (Existencia de un problema de interés)*
- *“Terminando con la realización de un organigrama o mapa conceptual y una recapitulación, que nos permitía recordar lo que me había enseñado”. (Realización de recapitulaciones)*
- *“Ante todo, al principio de curso, la estructuración¹⁴ de lo que se trataría sabiendo al de dónde se parte y hacia dónde se va. El tratamiento de una sola temática (Astronomía diurna) permite profundizar, estudiar el tema de una manera ordenada y secuencial”. (Estructura problematizada, hilo conductor, muestra orientación)*
- *“La estructura de las actividades y la recapitulación problematizada permite seguir lo que se va aprendiendo. La utilización del “modelo” nos lleva a una comprensión de lo estudiado pues observamos que los datos obtenidos y las suposiciones son correctas”. (Estructura problematizada, recapitulación, ambiente hipotético deductivo)*
- *“La estructura problematizada es muy útil porque permite saber en todo momento que objetivo tiene nuestra tarea y por dónde vamos”. (Estructura problematizada/ hilo conductor/ orientación)*

¹⁴ Cuando en los comentarios aparecen palabras subrayadas, es porque estas están así en el original

Alumnos de 1º de Bachillerato:

Me han parecido muy útiles las recapitulaciones que hacíamos; este ejercicio es fundamental para aprender, porque mientras lo hacemos recordamos y nos replanteamos el tema, sabiendo lo que entendemos y lo no.

(Recapitulaciones)

Lo característico y importante de esta asignatura ha sido empezar los temas planteándonos ~~de~~ problemas, los cuales han sido resueltos durante el tema mediante hipótesis, experimentos, ... También es importante que al final del tema se nos muestre una recapitulación y una lista de problemas no resueltos todavía y que intentarán ser resueltos en el tema siguiente.

(Existencia de un problema; contexto hipotético deductivo; recapitulaciones; hilo conductor de problemas abiertos).

Un aspecto que han valorado espontáneamente un buen número de alumnos, va más allá del aprendizaje de la Física y la Química:

Si quieres que te diga la verdad y muy sinceramente, creo que he aprendido cosas que no creía que podría saber nunca y he aprendido a expresarme en esta asignatura como en ninguna otra

Este comentario resume las conclusiones de los resultados del metaanálisis (tabla 6.MA), de la apropiación mostrada después de la enseñanza (tablas 6.C2-C3; 6.C4; 6.C5), de las actitudes (tablas 6.C9; 6.C10) y del análisis cuantitativo de la riqueza del texto (tabla 6.C4(c)): los alumnos que han sido instruidos según

una enseñanza con una estructura problematizada han aprendido mucho más, muestran una apropiación y unas actitudes mucho mejores y expresan sus ideas sobre lo tratado mucho mejor que los alumnos de los grupos de control.

Una vez completado la exposición de los resultados obtenidos con los instrumentos diseñados para los alumnos, realizaremos a modo de resumen algunas conclusiones.

CONCLUSIONES PARCIALES SOBRE LOS EFECTOS DE LA ENSEÑANZA PROBLEMATIZADA EN LOS ALUMNOS.

La primera derivación de la hipótesis pretendía encontrar evidencias sobre la influencia en la forma de organizar la enseñanza/aprendizaje de la Física y Química a partir de la resolución de problemas, sobre el aprendizaje conceptual y los indicadores de apropiación. Para ello se diseñaron una serie de instrumentos, de los cuales acabamos de mostrar los resultados obtenidos en nuestra investigación. A modo de resumen de lo expuesto en los apartados anteriores podemos concluir que los resultados obtenidos nos permiten afirmar que los alumnos que han seguido una enseñanza problematizada obtienen mejores resultados que los de control en los indicadores de comprensión conceptual y de indicadores de apropiación.

a) En el metaanálisis realizado hemos podido mostrar que, independientemente del tema, curso, nivel o profesor, los estudiantes que han seguido una enseñanza como resolución de problemas obtienen mejores resultados en los indicadores de comprensión sobre aspectos conceptuales esenciales analizados, incluso cuando se toma el aspecto más desfavorable para nuestra hipótesis, el resultado es favorable a los alumnos tratados con un valor de significatividad mayor del 99%, tanto con la *t* de *student* como la Chi cuadrado. En concreto:

- En el tema de la luz y la visión los alumnos de 3º ESO experimentales obtienen mejores resultados que los de control (en el caso más desfavorable para nuestra hipótesis, considerar que los objetos son

emisores de luz, el 70 % de los alumnos experimentales contestan bien frente a solo el 22 %)

- Después de una enseñanza problematizada sobre el modelo Sol/Tierra, los alumnos de magisterio, en el aspecto más desfavorable para nuestra hipótesis, el 80% supera el indicador de comprensión, frente a sólo el 24 % en los grupos de control.
 - En los indicadores de comprensión de los conceptos de energía, trabajo y calor, el metaanálisis realizado nos permite afirmar que, en el peor de los resultados (la comprensión cualitativa de energía) responden correctamente el 95 % de los experimentales, y solo el 51 % de los de control.
 - El 39 % de los alumnos de 3º de BUP que han sido iniciados en el cálculo diferencial con una estructura problematizada, utiliza correctamente el significado físico y matemático de la diferencial frente a ninguno de los alumnos de COU.
- b)** Los alumnos experimentales, independientemente del tema y del nivel educativo de los alumnos, obtienen mejores resultados en los indicadores de apropiación (orientación, implicación/motivación, recuerdo relevante y actitudes). En concreto:
- En la mitad de un tema, ante una pregunta abierta, el 79 % de los alumnos experimentales recuerdan ideas importantes expresadas cualitativamente y coherentemente sobre lo que están haciendo frente a sólo el 34 % de los alumnos de control; muestran indicadores de orientación, expresando el interés de lo que está haciendo el 83 % de los experimentales y el 28 % de los de control; expresan una implicación/motivación, teniendo una sensación de avance, de aprendizaje, el 28% de los experimentales y ninguno de los de control, por el contrario expresa una actitud negativa, de forma explícita, el 10% de los alumnos de control. El tipo argumentación de los alumnos

experimentales es mejor: un 56 % escribe 6 o más frases-ideas indicadoras de apropiación por solo el 13 % de los de control, es más, el número medio de frase-idea por alumno es el triple que en los de control (9,5 % y 3,0 % respectivamente)

- al final de un tema, independientemente del nivel y contenido, los alumnos que siguen una enseñanza problematizada muestran mejores indicadores de apropiación: se sienten orientados, es decir, expresa el interés de lo que está haciendo, un 93 % frente a la cuarta parte de los alumnos de control; escribe ideas importantes, recuerdo relevante, un 51 % frente al 5 % de los alumnos de control. Los resultados respecto a la valoración global de la calidad del texto muestra que mientras el 57 % de los alumnos experimentales escriben entre una y cinco frases-ideas, solo lo hacen el 10 % de los de control, las relaciones se invierten cuando se trata de reflejar ideas que pueden ser indicadoras de un aprendizaje repetitivo con un 30 % y un 67 % respectivamente.
- Al final de una gran síntesis (estructura atómico-molecular de la materia, síntesis newtoniana), el 82 % de los alumnos experimentales se sienten orientados frente a solo el 35 % de los de control, enmarcan lo que hacen dentro de un objetivo o finalidad general el 40 % de los experimentales frente al 17 % de los de control; muestran indicadores de implicación/motivación, es decir, muestran sensación de avance un 86% de los experimentales y solo el 33 % de los de control. Respecto al recuerdo relevante al ser preguntados un cierto tiempo después por el tema los resultados obtenidos muestran que el 79 % de los alumnos experimentales recuerdan ideas importantes, mientras que solo lo hacen el 29 % de los de control. Además el 72 % de los alumnos experimentales escribe más de seis frases-ideas que denotan apropiación, frente a solo un 10 % de los de control.
- Al final de la Mecánica las ideas cualitativas y coherentes van acompañadas de una mejor comprensión de la superación de la barrera Cielo/Tierra. Los alumnos que siguen una enseñanza como resolución de

problemas presentan un recuerdo relevante al final de una gran síntesis, la síntesis newtoniana. A modo de ejemplo, respecto a las semejanzas y diferencias entre el movimiento del astronauta y el del paracaidista: el 37 % de los alumnos de 4º ESO experimentales responden correctamente frente a solo el 15 % de los alumnos de 4º ESO de control y el 20 % de los alumnos licenciados que están realizando el CAP (profesores en formación), el porcentaje de los alumnos de 1º de Bachillerato experimentales es similar a los de los profesores en activo, 48 % y 43 % respectivamente. Al contestar por qué la Luna no cae, la respuesta de los alumnos experimentales de 1º de Bachillerato es mejor que la de todos los grupos de control, el 42 % frente a el 9 % de los de 1º BCN, el 13% de los del CAP y el 28% de los profesores en activo.

c) El efecto de la estructura sobre la autopercepción de apropiación en los alumnos, obtenidos de las expectativas que genera esta forma de organizar la enseñanza, nos permiten afirmar que los alumnos experimentales adquieren expectativas positivas significativamente superiores a los alumnos de control. Hemos de recordar de nuevo que los alumnos de control de los que hemos obtenido resultados en este trabajo son de profesores que han asistido a cursos de formación y que están preocupados por la enseñanza, por lo que cabe pensar que estas diferencias serían mayores si los grupos de control se hubieran elegido de manera aleatoria.

- La valoración al final del curso, sobre norma (C6) de los distintos ítems, sobre indicadores de apropiación, son superiores a 7 en los alumnos experimentales en las afirmaciones a favor de la hipótesis, con diferencias significativas respecto a los de control y con *tamaños del efecto* superiores a 0,3.
- La valoración al final de un tema de óptica (C7) de la percepción de los indicadores de apropiación y actitudes, sobre las afirmaciones realizadas por nosotros, es superior a 7 en los alumnos experimentales, en todos los ítems a favor de la hipótesis, y por debajo de 3 en las afirmaciones

en contra, con diferencias significativas ($\alpha < 0'001$) respecto a los alumnos de control, con tamaños del efecto superiores a 0,59.

- La percepción de los alumnos sobre la influencia de la forma de estructurar la enseñanza en la enseñanza recibida es superior a 7 en los alumnos experimentales con diferencias significativas ($\alpha < 0'001$) y tamaño del efecto superior a 0'42, respecto a los alumnos de control, en el peor de los casos. En la justificación de la valoración realizada, los alumnos experimentales se refieren a, por ejemplo, la existencia de un hilo conductor en un 22 % de los casos frente a solo el 4 % de los de control. Cuando justifican la valoración dada, un 35,5 % de los alumnos experimentales hacen referencia a la existencia de un hilo conductor, a estar orientado, frente a sólo el 4,5 % de los de control. Respecto a que la forma de finalizar el tema les permite comprender lo que se ha avanzado, el 68,5 % de los experimentales se refieren a la realización de revisiones/recapitulaciones y sólo lo hace el 24,5 % de los de control.

d) Los resultados sobre la percepción de indicadores de apropiación y actitudes de los alumnos experimentales, de los profesores investigadores, nos permiten afirmar que:

- valoran muy positivamente esta enseñanza, sobre norma, por encima de 7 en los ítems relacionados con la propuesta realizada.
- Un 70 % de los alumnos del profesor investigador eligen esta asignatura (con una estructurada como problema) entre diez, como una de las dos en las que más sensación tienen de haber aprendido de verdad, es más, un 26 % de los estudiantes solo eligen esta. Al argumentar su decisión, un 55 % se refiere espontáneamente a características genuinas de la estructura problematizada.
- Cuando valoran comparativamente en qué medida la forma de estructurar la enseñanza, habitual y la problematizada, favorece distintos indicadores, las valoraciones son mejores para la enseñanza

con una estructura problematizada (mayor de 7) frente a la habitual (entre 4 y 5), con un *tamaño del efecto*, en el más desfavorable de los casos, mayor de 1. Estas diferencias se dan incluso en los casos de los alumnos que no han elegido la asignatura como la que tienen más sensación de haber aprendido tienen.

- El 58 % de los alumnos experimentales citan aspectos básicos de la estructura problematizada al responder a una pregunta abierta sobre los aspectos de la asignatura que le han resultado de mayor interés o utilidad, tiene una percepción de la estructura problematizada.

Podemos concluir, por tanto, que los alumnos que han recibido instrucción siguiendo una estructura problematizada como la que hemos descrito se apropian, dándole sentido, de lo que se está tratando en los temas y en el curso, adquieren un aprendizaje conceptual mejor y muestran actitudes muy positivas hacia la enseñanza recibida.

El análisis de los resultados obtenidos de las respuestas abiertas nos permite afirmar que los estudiantes que siguen una enseñanza problematizada elaboran un discurso más elaborado, con más número de frases-ideas con indicadores de apropiación y no responden con monosílabos o esquematismos operativistas. Podemos considerar, por tanto, que los alumnos adquieren además de conocimientos de Física y Química, otro tipo de conocimientos, como el aprender a argumentar lo que piensan.

En la segunda parte de este capítulo mostraremos los resultados sobre las expectativas generados por esta forma de estructurar la enseñanza en los profesores.

6.2. Resultados sobre las expectativas generadas por la organización de los temas y cursos como problemas en los profesores de física y química en activo

Como ya hemos señalado en el capítulo 3, al presentar ejemplos de temas y grandes síntesis organizados con una estructura problematizada, nuestra investigación ha ido asociada con la innovación: con la elaboración de materiales, de secuencias de actividades, que hemos probado reiteradamente –y modificado– en las aulas. Pero no sólo se ha tratado de un proceso de investigación e innovación, sino también necesariamente de formación y desarrollo. Para que la investigación didáctica llegue a las aulas no basta con elaborar materiales concretos que recojan las propuestas del investigador y probar que “funcionan” con sus alumnos. Es necesario realizar actividades de formación para los profesores en activo en las que exista ocasión de presentar y analizar temas concretos, en un ambiente de (auto)formación colectiva que favorezca la reflexión descondicionada sobre cómo se enseña habitualmente y cómo se podría modificar.

El verdadero proceso de formación didáctica requiere la participación de los profesores en grupos de trabajo que tratan a fondo los temas y que, conjuntamente, elaboran materiales para el aula. Estos grupos permanentes de trabajo suministran el ambiente adecuado para que los participantes se apropien con la profundidad debida de los temas, y para que analicen los resultados de su puesta en práctica. Esto suele traducirse en transformaciones de los materiales iniciales y en una mayor identificación personal con las actividades que se desarrollan en el aula.

Este es el proceso que han seguido los profesores colaboradores, y ya hemos visto cómo los resultados de sus alumnos se separan claramente –mejorándolos– de los grupos de control y se acercan a los obtenidos por la investigadora. Estos colaboradores (al igual que la investigadora y el director de esta investigación) antes de formar parte de un grupo de investigación/ innovación estable *empezaron* participando en cursos de formación que fueron impartidos por otros profesores investigadores/ innovadores, y que les abrieron expectativas positivas de mejora en su trabajo. Por ello, aún siendo conscientes de las limitaciones de las

actividades puntuales de formación (Briscoe y Peters, 1997) consideramos muy importante mostrar las expectativas generadas por nuestra propuesta cuando se presenta y debate con profesores en activo que –posiblemente- están enseñando de forma muy diferente. Nada asegura que una propuesta considerada positiva y atractiva por un profesor en un curso de formación sea incorporada fácil y adecuadamente en su práctica docente. Ya hemos expresado lo que consideramos un verdadero proceso de formación. Pero si las expectativas iniciales generadas por la propuesta en los profesores-participantes no son positivas es muy improbable que la pongan en práctica, y, lo que es peor aún, no se verán siquiera tentados por implicarse en mejorar su enseñanza en esa dirección (al contrario de los profesores de los grupos experimentales que hemos presentado en el apartado anterior de este mismo capítulo). Según nuestra hipótesis esperábamos encontrar que cuando los profesores en activo participan en actividades formativas donde tienen ocasión de conocer con detenimiento la forma de estructurar y organizar la enseñanza en torno a problemas, adquieren expectativas muy positivas sobre su influencia para:

- Mejorar los indicadores de apropiación de los estudiantes (orientación; implicación/motivación; actitudes)
- Mejorar el aprendizaje de la Física y Química
- Mejorar las propias actitudes de los profesores hacia la enseñanza.

Presentamos, pues, los resultados sobre las expectativas generadas en profesores de Física y Química de Secundaria, cuando han participado en actividades formativas en las que se presentaron, analizaron y debatieron temas y cursos organizados según la estructura problematizada que hemos presentado en los primeros capítulos de esta Tesis.

Hemos utilizado los instrumentos diseñados en el capítulo 5 (pp. 245 y siguientes) con los profesores asistentes a 7 cursos de formación cuya temática y duración ha sido muy diferente. En todos los casos, al finalizar el curso se les ha pasado una serie formada por una pregunta abierta y un cuestionario de valoración de aspectos concretos. Los cursos han sido impartidos por un total de

ocho profesores: seis profesores colaboradores, y dos investigadores (la autora y el director de este trabajo). Han participado 184 profesores de Física y Química de centros públicos de Enseñanza Secundaria de la Comunidad Valenciana (los cursos se impartieron en Alicante, Orihuela y Benidorm, organizados por la Conselleria de Cultura, Educación y Ciencia de la Generalitat Valenciana (1992 a 1994) y por el ICE de la Universidad de Alicante (resto de los años). Presentamos en el cuadro siguiente, las características de los cursos y los instrumentos utilizados:

Cuadro sobre características de los cursos de formación de profesores y los instrumentos utilizados

Contenido del curso	Duración (horas)	Profesorado	Nº de asistentes	Año	Instrumentos utilizados
Didáctica de la Física y la Química (módulos sobre didáctica de la F ^a y Q ^a + varios temas como problemas (A)	150 h	4 profesores colaboradores + 2 profesores investigadores	29	1992-93	C14p-b (valoración comparativa) y C14p-a (pregunta abierta indirecta), simultáneamente
Idem (B)	150 h	Ídem	30	1993-94	Ídem
Astronomía general	40 h	2 profesores colaboradores	23	1999	C15p-a (pregunta abierta indirecta) + C15p-b (valoración comparativa)
"Energía, trabajo y calor" y "Corriente eléctrica"	40 h	1 profesor colaborador + 2 profesores investigadores	29	2000	Ídem
Óptica	30 h	1 profesor colaborador	25	2001	C16p-a (pregunta abierta directa) + C16p-b (valoración no comparativa)
"Energía" y "Corriente eléctrica" en el Bachillerato	40 h	2 profesores colaboradores + 2 profesores investigadores	20	2002	Ídem
Astronomía diurna	30 h	1 profesor colaborador + 1 profesor investigador	28	2002	C16p-a (pregunta abierta directa) + C16p-b (valoración no comparativa) C17p-a (pregunta abierta directa) + C17p-b (triple valoración comparativa)

Presentaremos los resultados en el orden cronológico en que se obtuvieron.

En los dos cursos de larga duración, realizados al principio de los noventa, se pasó el instrumento que demandaba una valoración comparativa entre la forma de organización de temas y cursos habitual y la problematizada (C14p-b) y, a continuación, en la misma hoja, una pregunta abierta que incitaba a expresar las expectativas de los profesores y las dificultades a superar (C14p-a).

Puesto que se les planteó simultáneamente ambas cuestiones, y esto influye en la contestación a la pregunta abierta, presentamos los resultados de ambas partes conjuntamente.

Recordemos brevemente la pregunta abierta y el estadillo de valoración de la misma.

Cuestionario C14p-a Valoración abierta de las características de la estructura problematizada de los temas percibidos por los profesores (recuerdo no dirigido).

En las sesiones anteriores se ha introducido una forma de organizar y estructurar los cursos basada en la generación de situaciones problemáticas iniciales que permiten estructurar los mismos.

Indica tus apreciaciones personales sobre dicha forma de estructurar los cursos (incluyendo también las posibles dificultades que crees que deberían ser superadas para ponerla en práctica en tus clases)

Cuadro 5.15 Estadillo para valorar C14p-a, C15p-a y C16p-a

<p>Consideraremos a favor de nuestra hipótesis si:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adquieren y manifiestan expectativas positivas sobre las potencialidades de esta forma de enseñanza, en concreto sobre: <ul style="list-style-type: none"> • su influencia sobre la implicación, orientación y actitud de los alumnos (indicadores de apropiación) • su influencia para favorecer aprendizajes de alto nivel, de conocimientos ricos y estructurados • su influencia para favorecer la aproximación a las características de la producción de conocimientos científicos 2. Expresa características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos genuinos de nuestra propuesta, que inciden positiva en la enseñanza/aprendizaje o le resultan de interés y/o utilidad, como: <ul style="list-style-type: none"> • la forma en que se ha iniciado el curso y cada tema contribuye a comprender el interés de lo que se iba a estudiar • expresa a alguna actividad realizada al inicio del curso o tema que le ayude a estar orientado • Alude positivamente a aspectos relacionados con la estructura problematizada de cursos y temas (planteamiento del problema, estrategia seguida, el índice, recapitulaciones, planteamiento de problemas abiertos, practicas como pequeñas investigaciones, resolución de problemas de lápiz y papel, ...)
<p>No consideraremos a favor de nuestra hipótesis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Únicamente comenta referencias a aspectos no relacionados exclusivamente con la estructura problematizada. • Muestra sólo posibles referencias negativas respecto a la estructura problematizada.

No recordaremos el cuestionario de valoración comparativa por ser evidente los aspectos valorados en la tabla de resultados.

En primer lugar mostraremos los resultados del cuestionario cerrado, aunque éste se pasó en segundo lugar,

Tabla 6. C14p-b Valoración comparativa dada por los profesores participantes en cursos de larga duración (1992/93; 1993/94)

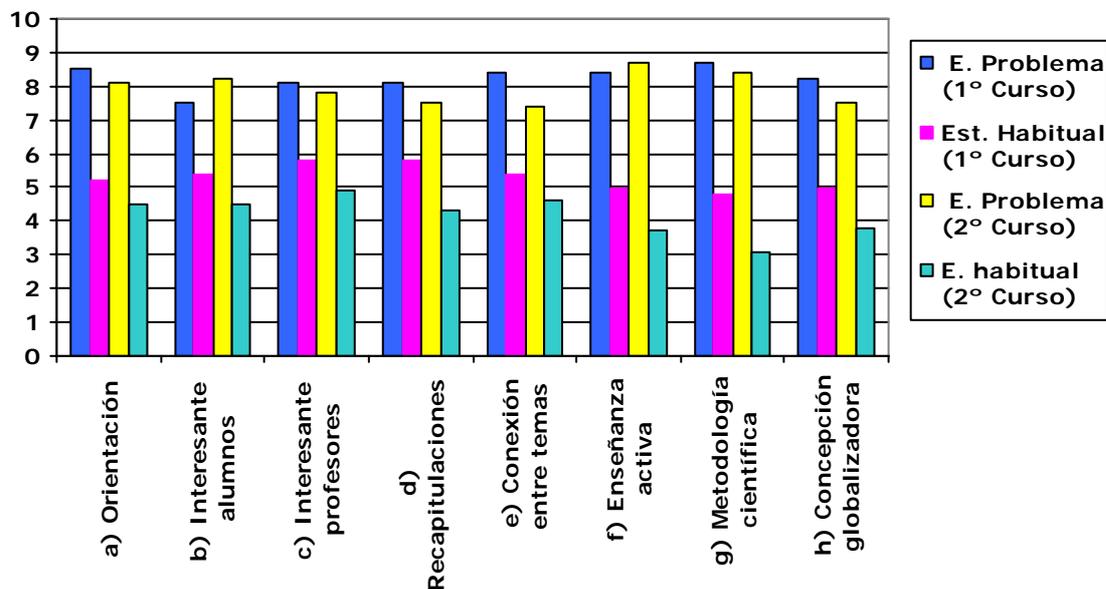
"Valora comparativamente en qué medida crees que se favorecen los siguientes aspectos con las distintas formas de organizar y estructurar los temas y cursos":	Grupo 1992/93 (N =29)				Grupo 1993/94 (N =30)			
	Estructura habitual M Sd	Estructura problema. M Sd	t diferencia ($\alpha < 0'01$ si $t > 2'76$)	Tamaño del efecto (TE)	Estructura habitual M Sd	Estructura problema. M Sd	t diferencia ($\alpha < 0'01$ si $t > 2'76$)	Tamaño del efecto (TE)
a) Orientación de los alumnos (O)	5'2 (1'5)	8'5 (1'2)	9'9	2'4	4'5 (1'6)	8'1 (1'0)	9'9	2'7
b) Atractivo e interesante a los alumnos (I/M; A)	5'4 (1'5)	7'5 (1'4)	5'15	1'4	4'5 (1'8)	8'2 (1'5)	7'5	2'2
c) Atractivo e interesante a los profesores	5'8 (1'3)	8'1 (1'6)	6'2	1'6	4'9 (1'8)	7'8 (1'4)	5'9	1'8
d) Facilita las revisiones, recapitulaciones (O)	5'8 (1'7)	8'1 (1'6)	5'4	1'4	4'3 (2'2)	7'5 (1'5)	5'7	1'7
e) Conexión con otros temas y cursos (O)	5'4 (1'8)	8'4 (1'7)	8'1	1'7	4'6 (2'1)	7'4 (1'3)	5'5	1'6
f) Favorecer una enseñanza más activa	5'0 (1'4)	8'4 (1'7)	8'0	2'2	3'7 (1'9)	8'7 (1'2)	12'0	3'1
g) Familiarizar con la metodología científica (<i>Aprendizaje alumnos</i>)	4'8 (1'8)	8'7 (1'0)	10'3	2'7	3'1 (2'2)	8'4 (1'0)	11'9	3'1
h) Construcción de síntesis, de concepciones globalizadoras (<i>Aprendizaje alumnos</i>)	5'0 (1'9)	8'2 (1'1)	8'2	2'1	3'8 (2'0)	7'5 (1'4)	8'3	2'1

Tabla 6.C14a Expresión espontánea de expectativas sobre la estructura problematizada (cursos de larga duración, pregunta abierta indirecta adjunta a la valoración comparativa C14b)

	Grupo 1992/93	Grupo 1993/94
Al indicar sus "apreciaciones personales sobre la forma de estructurar los temas y cursos a partir de situaciones problemáticas", los profesores:	N = 29	N = 30
	% Sd	% Sd
1. Manifiestan expresamente expectativas positivas:	82'8 (7,0)	90'0 (5,5)
- Se refieren a su influencia sobre indicadores de apropiación de los alumnos (orientación; implicación/ motivación) y actitudes de alumnos y profesores	69'0 (8'6)	80'0 (7'3)
- Consideran que favorece aprendizajes de alto nivel, de conocimientos más ricos y estructurados	17'2 (8'6)	33'3 (8'6)
- Ídem la aproximación a características del trabajo científico	17'2 (8'6)	36'7 (8'8)
2. Manifiestan expectativas neutras o negativas:	17'2 (8'6)	10'0 (5'5)
- Se refieren únicamente a aspectos no exclusivos de la estructura problematizada	6'9 (4'7)	3'3 (3'3)
- Expresan expectativas negativas	10'3 (5'7)	6'7 (4'6)

Como muestran los resultados de la valoración comparativa, en ambos cursos las diferencias a favor de nuestra hipótesis son altamente significativas ($\alpha < 0'001$ en todos los casos). Los profesores que han participado en cursos de 150 horas de duración creen que la estructura problematizada favorecería la apropiación de los alumnos (ítems **a**), **b**), **d**) y **e**)) y un mejor aprendizaje, tanto metodológico como conceptual (ítems **g**) y **h**)). Los TE son muy grandes y mayores en el curso impartido en el 93/94 que en el 92/93. Recordemos, tomando como ejemplo el caso más desfavorable, que un tamaño del efecto de 1'3 significa que la valoración media que recibe la medida en que la estructura problematizada favorece dicho aspecto sólo es otorgada a la estructura habitual por menos de un 10 % de los profesores. Y los tamaños del efecto sobre la influencia de la estructura en indicadores de apropiación de los alumnos oscilan entre 1'3 (ítem **b**) 92/93) y 2'7 (ítem **a**) 93/94). En este último caso, la valoración media que recibe el grado en que la estructura problematizada favorece la orientación de los alumnos, sólo es otorgada a la estructura habitual por menos de un 1% de los profesores.

Gráfica C14p-b: Grado en que la forma de estructurar la enseñanza favorece distintos aspectos (Valoración de los profesores tras un curso de larga duración)



Una atención especial merecen los ítems c) y f) que se refieren a cómo perciben los mismos profesores que la estructura problematizada afectaría a su propio trabajo. La valoración media otorgada por los profesores al grado en que resultaría atractiva e interesante una enseñanza estructurada de la forma propuesta sólo es dada a la estructura habitual por menos de un 5 % de los profesores. Las diferencias sobre el grado en que se favorece una enseñanza activa son aún mayores (TE 2'2 y 3'1). Estas diferencias se observan claramente en la gráfica adjunta (gráfica C14p-b).

Estos resultados se complementan con las ideas expresadas ante la pregunta abierta, que se reflejan en la última tabla (6.14p-a). El 82'8% y el 90 % de los profesores de ambos grupos, expresan ideas que contienen expectativas positivas sobre la forma de organizar la enseñanza de los temas y cursos que ha sido desarrollada en la actividad formativa. En dicha tabla no se han contabilizado las "preocupaciones" y dificultades lógicas de los participantes, siempre que no contuvieran expectativas negativas (en cuyo caso se han contabilizado en el apartado 2 de la tabla). Ejemplos de estas dificultades son los siguientes:

- *"En general falta seguridad en ciertas situaciones, exige dominar en profundidad la asignatura, pero con menos operativismo"*

- *“Hace falta mayor dedicación a la preparación de los temas”*
- *“Es necesario una preparación adecuada del profesorado para llevarlo a la práctica”*

Sin embargo, es necesario comentar que un 17'2 % y un 10 % de los profesores de ambos cursos no expresaron expectativa positiva alguna. Este hecho lo interpretamos –según nuestra vivencia como profesora de ambos cursos- como fruto de una oposición a la reforma del sistema educativo que se estaba generalizando en el momento en que se realizaron los cursos. Puesto que se trataban de actividades formativas organizadas por la Conselleria de Educación, algunos de los asistentes identificaron, en nuestra opinión, una política educativa con la propuesta didáctica que se desarrolló en ellas. En todo caso, dichas expectativas negativas deben valorarse conjuntamente con los resultados de la valoración comparativa, muy positivos, y, además, con los resultados de las actividades formativas realizadas en los 10 años posteriores que se exponen a continuación.

En los cursos siguientes, de 40 horas de duración, se utilizó el instrumento formado por **C15p-a** y **b**, pero pasando la pregunta abierta indirecta en primer lugar, y posteriormente la valoración comparativa. En dichos cursos se trataron temas específicos que habían sido planificados según las pautas presentadas en los capítulos segundo y tercero de esta Tesis. El primero, sobre “Astronomía” se impartió en Alicante en el año 1999 y participaron 23 profesores de secundaria; el segundo, sobre “Energía y corriente eléctrica”, se impartió en Orihuela en el año 2000 y participaron 29 profesores. Tanto la pregunta abierta como la valoración se pasaron al final de los cursos, de manera anónima e individual. La pregunta abierta fue la siguiente:

Cuestionario C15p-a. Pregunta abierta indirecta para la expresión espontánea de expectativas sobre la estructura problematizada

Acabas de participar en un curso de una temática determinada. Te pedimos que expreses qué características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos te han resultado de mayor interés y/o utilidad.

Los resultados a esta cuestión quedan reflejados en la tabla siguiente.

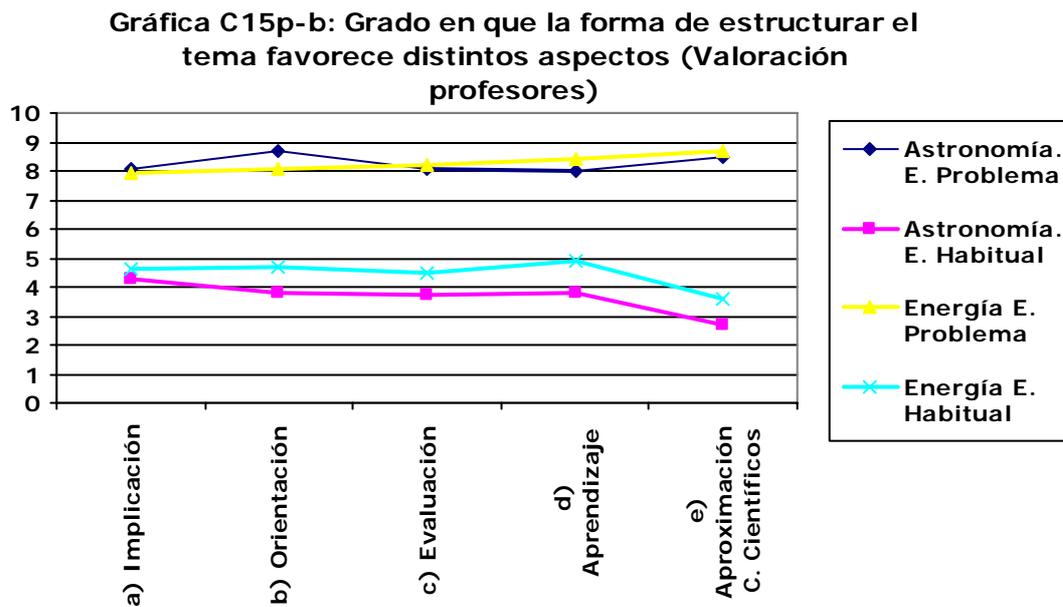
Tabla 6.C15p-a Expresión espontánea de expectativas sobre la estructura problematizada (cursos de 40 horas, pregunta abierta indirecta, pasada de forma aislada)

Al expresar "qué características de la forma de desarrollar y estructurar los contenidos te han resultado de mayor interés y/o utilidad", los profesores:	"Astronomía General" 1999 (N = 23) % Sd	"Energía" y "Corriente eléctrica" 2000 (N = 29) % Sd
1. Manifiestan expresamente expectativas positivas:	65'2 (40,2)	48'3 (9,4)
- Se refieren a su influencia sobre indicadores de apropiación de los alumnos (Orientación; Implicación/motivación) y actitudes de alumnos y profesores	34'8 (10'2)	13'8 (6'5)
- Consideran que favorece aprendizajes de alto nivel, de conocimientos más ricos y estructurados	17'4 (8'1)	17'2 (7'1)
- Ídem la aproximación a características del trabajo científico	30'4 (9'8)	27'6 (8'4)
2. Consideran interesantes y/o útiles características genuinas de la estructura problematizada	82'6 (8'1)	93'1 (4'8)
- Se refieren a la forma de iniciar los temas (plantear el problema y tratar su interés)	47'8 (10'6)	55'2 (9'4)
- Ídem a otras características genuinas de la estructura problematizada (índice como estrategia; contexto hipotético-deductivo; recapitulaciones.	60'9 (10'4)	41'4 (9'3)
3. (De 1 y 2) Expresan 1 y/o 2	91'3 (6'0)	96'6 (3'4)
4. Manifiestan expectativas neutras o negativas:	8'7 (6'0)	3'4 (3'4)
- Se refieren únicamente a aspectos no exclusivos de la estructura problematizada	8'7 (6'0)	3'4 (3'4)
- Expresan expectativas negativas	0 (--)	0 (--)

La interpretación de los resultados de la pregunta abierta se completa con los obtenidos en la valoración comparativa (C15p-b), que presentamos a continuación:

TABLA 6. C15p-b Valoración comparativa dada por los profesores participantes en cursos sobre temas específicos (40 horas) (1999 y 2000)

"Valora de 0 a 10 en qué medida se favorecen los siguientes aspectos con la forma de estructurar los temas y cursos"	Curso Astronomía General (1999)				Curso Energía y Corriente eléctrica (2000)			
	N = 23				N = 29			
	Estructura Problema M Sd	Estructura Habitual M Sd	t diferencia ($\alpha < 0'01$ si $t > 2'76$)	Tamaño del Efecto (TE)	Estructura Problema M Sd	Estructura Habitual M Sd	t diferencia ($\alpha < 0'01$ si $t > 2'76$)	Tamaño del Efecto (TE)
a) Implicación e interés de los alumnos (I/M; A)	8'1 (1'2)	4'3 (1'3)	10	3'0	7'9 (0'9)	4'6 (1'1)	11'8	3'3
b) Orientación (saber qué se está tratando, por qué y para qué, dónde se está,..) (O)	8'7 (1'1)	3'8 (1'8)	10	3'3	8'1 (1'5)	4'7 (2'0)	6'3	1'9
c) Evaluación "con sentido" dentro del proceso	8'1 (1'3)	3'7 (2'1)	7'9	2'5	8'2 (1'4)	4'5 (1'3)	8'7	2'5
d) El aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados frente a conocimientos puntuales (<i>Aprendizaje alumnos</i>)	8'0 (1'3)	3'8 (2'1)	7'3	2'4	8'4 (0'9)	4'9 (1'6)	7'9	2'7
e) La aproximación a las formas en que se producen conocimientos científicos (<i>Aprendizaje alumnos</i>)	8'5 (1'5)	2'7 (2'3)	8'8	3'0	8'7 (1'1)	3'6 (2'1)	10	3'0



Como vemos en la tabla 6.C15p-b, se puede apreciar claramente en la gráfica adjunta, las diferencias estadísticas y los tamaños del efecto (TE) son mayores que los que se encontraron en los cursos de 1992 y 1993. Las expectativas que adquieren los profesores que han tratado con cierta profundidad temas específicos con un estructura problematizada sobre el grado en que dicha forma de organizar la enseñanza favorecería la apropiación de los estudiantes (ítems a) y b)); el aprendizaje conceptual y metodológico de alto nivel (d) y e)) y una evaluación dentro del proceso (c) son muy positivas comparadas con las que expresan respecto a la forma habitual. Los tamaños del efecto son enormes y similares en ambos cursos. A modo de ilustración, la valoración media otorgada a la capacidad de la estructura problematizada para favorecer la implicación y el interés de los alumnos, sólo sería alcanzada por el 1‰ superior de las valoraciones dadas a la organización habitual (TE = 3, ítem a) Astronomía).

En las respuestas a la pregunta abierta (tabla 6.C15p-a) podemos ver (apartado 2) que espontáneamente el 82'6 % y el 93'1 % de los participantes en ambos cursos han encontrado de "interés y/o utilidad" características genuinas de la estructura problematizada. El aspecto que han encontrado más interesante o útil el mayor número de profesores es "la forma en que se inician los temas y cursos" (47'8 5 y el 55'2 % del total), es decir, plantear un problema y realizar actividades dirigidas a que los alumnos tomen conciencia de su interés.

Aunque no se les pedía en el enunciado de **C15p-a**, un importante número de participantes han expresado expectativas positivas (apartado 1, **tabla 6.C15p-a**) sobre la influencia de la organización propuesta en la apropiación y aprendizaje de los alumnos. En total, más del 90 % y del 95 %, respectivamente, de los profesores han expresado, al ser preguntados abierta e indirectamente, expectativas positivas o encontrado útiles o interesantes características genuinas de la estructura como problema. Los siguientes comentarios, muy representativos, sirven para ilustrar los valores numéricos:

- *“Lo que más destacaría del curso es la secuencia coherente y deductivo-inductiva con la que se han presentado las actividades. Me parece de gran utilidad para que el alumno pueda comprender de forma lógica y significativa el tema”* (contexto hipotético-deductivo; favorece aprendizaje de alto nivel).
- *“Desarrollar el índice de cada unidad como una estrategia de resolución del problema planteado al inicio del mismo. El resumen/recapitulación de cada unidad. El planteamiento de problemas que cada nuevo modelo no podía abordar por lo que es necesario recurrir a uno nuevo ...”* (índice como estrategia; recapitulación; secuencia de problemas abiertos)
- *“El intento de hacer hincapié en la física conceptual, es decir, en ahondar en el concepto, en intentar desgranar lo que estudiamos, es la imagen que me ha quedado del curso y lo que más me ha gustado”* (expectativas positivas: aprendizaje de alto nivel).
- *“Ayuda a los alumnos a comprender los problemas complejos”* (expectativas positivas: aprendizaje de alto nivel).
- *“..Y por último señalar que no creo que exista ninguna otra forma de entender los conceptos físicos y químicos si no es de la forma en que se ha planteado en este curso, es decir, inventando, poniendo a prueba lo que hemos inventado y qué consecuencias contrastables tiene”* (expectativas positivas; contexto hipotético-deductivo).
- *“Me parece interesante la forma de desarrollar los contenidos mediante el planteamiento de “preguntas” o situaciones problemáticas que se van enlazando para profundizar en un*

problema más global” (Planteamiento de problemas de interés; secuencia de problemas que constituyen el inicio de temas).

- *“El punto de vista globalizador del final, al relacionarlo con el tema anterior”* (recapitulación; secuencia de problemas)
- *“Puede parecer una tontería, pero de esta manera resulta un aprendizaje más divertido. Y eso engancha.”* (expectativas positivas).

Tan sólo un 8'7 % y un 3'4 % no expresan expectativas positivas o aspectos que les han resultado interesantes genuinos de la estructura problematizada (por ejemplo, en un caso sólo se han referido a *“la realización de actividades prácticas”*; en otro: *“no encuentro nada negativo, sólo que su aplicación es difícil”*). También han aparecido los consabidos temores respecto al tiempo y otras más infrecuentes, como las siguientes:

- *“Demasiado estructurado, un método demasiado científico, siendo más ventajoso que las estructuras habituales. Visión muy racional de la asignatura”*
- *“No se valoran con exactitud las actitudes, aunque el modo de proceder en los planteamientos determina una mayor implicación e interés”*
- *“Un inconveniente es que el alumno que no se implique en la resolución del problema puede quedar perdido ante la avalancha de actividades que puede considerar sin sentido. El método funciona si el alumno se implica”*

Estos últimos comentarios, sin expresar unas expectativas negativas respecto a la propuesta, implican percepciones de “excesiva dificultad para los alumnos” y de “determinismo”. Respecto a la percepción de mayor dificultad para los alumnos que según unos pocos profesores podría suponer la estructura problematizada, sólo cabe remitir a los resultados relativos a la percepción de dificultad de los alumnos de grupos experimentales y de control que se han presentado en este mismo capítulo (**tablas 6.C6, 6.C7, 6.C9 y 6.C10**). En relación a que *“el método funciona si el alumno se implica”*, supone una idea determinista según la cual el alumno estaría de antemano –y quizás para siempre- dispuesto a implicarse o no,

independientemente de la forma en que se le enseñe. De nuevo, los resultados con los alumnos obtenidos en el meta-análisis del aprendizaje conceptual en distintos temas, los indicadores de apropiación durante y al final de temas y grandes síntesis y las autopercepciones de los alumnos tratados y no tratados, muestran, de una manera rotunda, que la estructura problematizada produce mayor apropiación, actitudes más positivas, y un aprendizaje más profundo y duradero que la estructura habitual de la enseñanza. Dado el gran número de alumnos analizados y la homogeneidad de las condiciones que se han conseguido, podemos afirmar, pues, que la forma de organizar los temas y cursos propuesta consigue superar, en mucha mayor medida que otras, las posibles carencias iniciales (conceptuales y actitudinales) que puedan tener los alumnos.

Estos excelentes resultados sobre las expectativas generadas por la organización de los temas y cursos como problemas, se ven replicados en los obtenidos en otros cursos utilizando un instrumento ligeramente distinto. Dicho instrumento, formado por una pregunta abierta *directa* y una valoración no comparativa, se pasó en dos cursos sobre temas específicos. Uno de ellos, de 30 horas de duración, trató sobre “¿Cómo vemos? ¿Cómo podríamos ver mejor?” (*La luz y la visión en la ESO y el Bachillerato*), y su estructura ha sido presentada en el capítulo 3, apartado 3.2 (Pág. 115 y siguientes). Fue impartido por un profesor colaborador. El otro, de 40 horas de duración, trató sobre “Energía, trabajo y calor” y “Corriente eléctrica” en el *Bachillerato*, y fue impartido por dos profesores colaboradores y dos investigadores. El curso sobre Óptica se impartió en el año 2001 y el otro en el 2002, ambos en Alicante.

Los cuestionarios se pasaron al final de los cursos, de forma anónima e individual, y la valoración cuantitativa se realizó una vez recogidas las respuestas a la pregunta abierta. Presentamos, en primer lugar, el enunciado de la pregunta abierta y los resultados de la categorización de las respuestas realizadas según el estadillo del cuadro 5.15 (página 248).

Cuestionario C16p-a. Pregunta abierta directa para la expresión espontánea de expectativas sobre la estructura problematizada

En este curso la enseñanza se ha planificado según una estructura problematizada, distinta de la que suele ser habitual en los libros de texto. Es posible que pienses que dicha estructura puede influir positiva, nada o negativamente en la enseñanza y el aprendizaje en el aula: que da lo mismo la forma de estructurar los temas o, por el contrario, que es un aspecto muy importante.

Nos interesa conocer tu valoración sobre este asunto, y que resaltes aspectos concretos de esta forma de estructurar los temas que creas que pueden incidir positivamente (si los hay) y aspectos concretos que puedan incidir negativamente (si los hay).

Gracias por tu colaboración.

Valoración abierta sobre la estructura problematizada (sigue detrás si es necesario)

Di aspectos concretos de la forma de estructurar (o directamente fomentados por ella) que creas que pueden incidir positiva/ negativamente en la enseñanza/ aprendizaje (sigue detrás si es necesario)

Los resultados obtenidos al valorar la pregunta abierta se encuentran reflejados en la página siguiente.

Tabla 6.C16p-a Expresión espontánea de expectativas sobre la estructura problematizada (cursos de 40 horas, pregunta abierta directa, pasada de forma aislada)

Al "valorar abiertamente la estructura problematizada" y al expresar "aspectos concretos de la forma de estructurar (o directamente fomentados por ella) que creas que pueden incidir positiva/ negativamente en la enseñanza/ aprendizaje", los profesores:	"Óptica" 2001 (N = 25) % Sd	"Energía" y "Corriente eléctrica" 2002 (N = 20) % Sd
1. Manifiestan expresamente expectativas positivas:	100 (-)	100 (-)
- Se refieren a su influencia sobre indicadores de apropiación de los alumnos (Orientación; Implicación/ motivación) y actitudes de alumnos y profesores	96'0 (4'0)	100 (-)
- Consideran que favorece aprendizajes de alto nivel, de conocimientos más ricos y estructurados	52'0 (10'2)	35'0 (10'9)
- Ídem la aproximación a características del trabajo científico	24'0 (8'7)	30'0 (10'5)
2. Consideran interesantes y/o útiles características genuinas de la estructura problematizada	68'0 (9'5)	75'0 (10'9)
- Se refieren a la forma de iniciar los temas (plantear el problema y tratar su interés)	64'0 (9'8)	40'0 (11'2)
- Ídem a otras características genuinas de la estructura problematizada (índice como estrategia; contexto hipotético-deductivo; recapitulaciones.	20'0 (8'2)	55'0 (11'4)
3. (De 1 y 2) Expresan 1 y/o 2	100 (-)	100 (-)
4. Manifiestan expectativas neutras o negativas:	0 (-)	0 (-)
- Se refieren únicamente a aspectos no exclusivos de la estructura problematizada	0 (-)	0 (-)
- Expresan expectativas negativas	0 (-)	0 (-)

Los resultados reflejados en la tabla anterior no necesitan comentario alguno, salvo resaltar que ningún participante manifestó "expectativas neutras o negativas". Los profesores, completaron -una vez retirada la hoja que contenía la pregunta abierta- una valoración respecto a norma (de 0 a 10) donde debían concretar las expectativas generadas por el curso.

Recordemos que el cuestionario **C16p-b** iba precedido de unos párrafos destinados a hacer más reflexiva la respuesta de los participantes. Uno de dichos párrafos era: *“Los psicólogos dicen que después de haber estado 20 horas en un curso, los asistentes siempre valoran bien el mismo, ya que han empleado su tiempo en él o han simpatizado con el profesor. Te pedimos que no te dejes llevar por estos “efectos”, si existen, y que pienses las respuestas antes de darlas”*. Los resultados han sido los siguientes (**tabla 6.C16p-b**):

Tabla 6.C16p-b Valoración dada por profesores participantes en cursos sobre temas específicos (2001 y 2002)

	Óptica N =25 M (Sd)	Energía N =20 M (Sd)
a) Valora de 0 a 10 en qué medida crees que la forma de estructurar los temas como problema mejoraría la enseñanza y el aprendizaje	8'1 (0'7)	7'9 (1'0)
Valora de 0 a 10 en qué medida la estructura problematizada puede favorecer los siguientes aspectos:		
b) El interés de los alumnos sobre lo que se va a tratar en el tema	7'7 (1'1)	8'1 (0'6)*
c) La orientación de los alumnos (saber “dónde” están, qué y para qué están haciendo lo que hacen, ...)	8'0 (1'1)	8'4 (1'3)
d) La orientación del profesor (tener la estructura en “mente”, evitar hacer “cosas sueltas”)	8'5 (1'1)*	8'9 (1'0)
e) La evaluación con sentido, como recapitulación y reflexión sobre lo avanzado y la firmeza de dicho avance	8'0 (0'8)	8'0 (1'6)
f) Oportunidades para que se puedan expresar las ideas (de alumnos y profesor) y para someterlas a prueba.	8'6 (0'8)*	8'3 (1'1)*
g) Orientar y justificar la enseñanza y el aprendizaje por la comprensión y no por el examen	8'2 (1'2)	8'2 (1'5)
h) Apropiación por los alumnos de formas de pensar próximas al trabajo científico	8'0 (1'4)	8'3 (1'2)
i) El aprendizaje “sólido”, justificado, de los conocimientos	8'0 (0'9)	8'3 (1'2)
j) Hacer que el profesor vea más atractiva la enseñanza	8'3 (1'1)	8'7 (0'9)*
k) La clarificación de los objetivos del tema	8'2 (0'9)*	8'4 (0'9)*

En primer lugar es necesario resaltar las elevadas puntuaciones y la escasa dispersión que tienen todos los ítems. Deseamos llamar la atención sobre los ítems en negrilla, que son los que afectan a la percepción del profesor sobre su propio desempeño. Los profesores, que acaban de participar en el desarrollo de uno o varios temas-como-problemas, creen que dicha forma de organizar la enseñanza favorecería "la orientación del profesor" (ítem **d**), 8'5 y 8'9), que haría más atractiva la enseñanza (ítem **j**), 8'3 y 8'7), que favorecería la clarificación de los objetivos de los temas (ítem **k**), 8'2 y 8'4), que aumentaría las oportunidades para que los alumnos y el profesor expusieran sus ideas y las sometieran a prueba (ítem **f**), 8'6 y 8'3). Dado que consideramos el entusiasmo del profesor como uno de los motores de la buena enseñanza, estos resultados, generados por la estructura problematizada de los temas y coincidentes con los obtenidos en los cursos de larga duración (tabla **6.C14p-b**, ítems **c**) y **f**), son muy alentadores.

Por último, para finalizar la presentación y análisis de los resultados de los profesores, presentamos los resultados obtenidos al pasar el instrumento formado por una valoración abierta y una respecto a norma de la enseñanza problematizada (**C16p-a** y **C16p-b**), una valoración abierta de la enseñanza habitual (**C17p-a**) y una triple valoración comparativa (**C17p-b**), a 28 profesores que participaron en un curso, de 30 horas, sobre "Astronomía diurna" impartido por el director de esta investigación y por otro profesor colaborador. La estructura problematizada de dicho tema ha sido presentada, también, en el capítulo 3. Las valoraciones se realizaron al final del curso, de modo anónimo e individual, una tras otra. Los resultados se muestran en las **tablas 6.C16p-a y 6.C16p-b Astronomía y 6.C17p-a y 6.C17p-b**.

Tabla 6.C16p-a Expresión espontánea de expectativas sobre la estructura problematizada (pregunta abierta directa, pasada de forma aislada)

Al <i>“valorar abiertamente la estructura problematizada”</i> y al expresar <i>“aspectos concretos de la forma de estructurar (o directamente fomentados por ella) que creas que pueden incidir positiva/ negativamente en la enseñanza/ aprendizaje”</i> , los profesores:	“Astronomía” 2002 (N = 28) % Sd
1. Manifiestan expresamente expectativas positivas:	100 (-)
- Se refieren a su influencia sobre indicadores de apropiación de los alumnos (Orientación; Implicación/ motivación) y actitudes de alumnos y profesores	85'7 (6'7)
- Consideran que favorece aprendizajes de alto nivel, de conocimientos más ricos y estructurados	35'7 (9'2)
- Ídem la aproximación a características del trabajo científico	42'9 (9'5)
2. Consideran interesantes y/o útiles características genuinas de la estructura problematizada	50'0 (9'6)
- Se refieren a la forma de iniciar los temas (plantear el problema y tratar su interés)	35'7 (9'2)
- Ídem a otras características genuinas de la estructura problematizada (índice como estrategia; contexto hipotético-deductivo; recapitulaciones.	28'6 (8'7)
3. (De 1 y 2) Expresan 1 y/o 2	100 (-)
4. Manifiestan expectativas neutras o negativas:	0'0 (-)
- Se refieren únicamente a aspectos no exclusivos de la estructura problematizada	0'0 (-)
- Expresan expectativas negativas	0'0 (-)

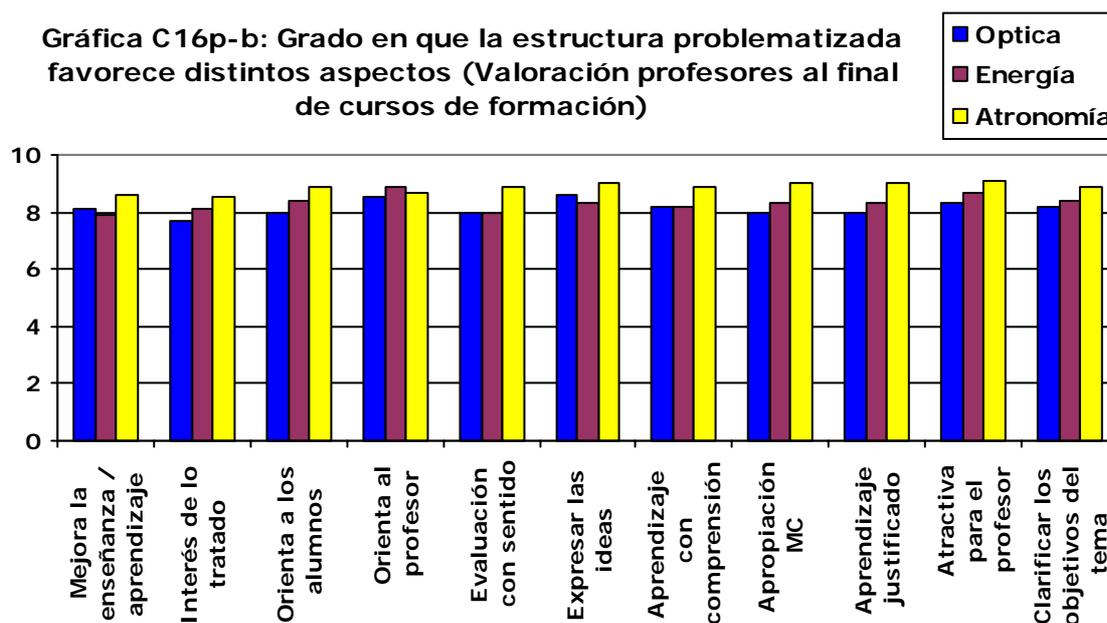
Los resultados de la pregunta abierta quedan patente en la tabla, y, vienen a confirmar los resultados obtenidos en otros cursos, así ningún profesor manifiesta unas expectativas neutras o negativas, y, en este caso, el 100 % de los profesores expresan expectativas positivas. En especial hacen referencia a los indicadores de apropiación (orientación, implicación/motivación, y actitudes) el 85,7 %. Por otro lado el 50 % de los profesores nombran características genuinas de la estructura problematizada como aspectos que inciden positivamente en el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Tabla 6.C16b Astronomía. Valoración dada por profesores participantes en cursos sobre temas específicos (2002)

	Astronomía
	N=28
	M (Sd)
a) Valora de 0 a 10 en qué medida crees que la forma de estructurar los temas como problema mejoraría la enseñanza y el aprendizaje	8'6 (1'0)*
Valora de 0 a 10 en qué medida la estructura problematizada puede favorecer los siguientes aspectos:	
b) El interés de los alumnos sobre lo que se va a tratar en el tema	8'5 (1'4)
c) La orientación de los alumnos (saber "dónde" están, qué y para qué están haciendo lo que hacen, ...)	8'9 (1'1)*
d) La orientación del profesor (tener la estructura en "mente", evitar hacer "cosas sueltas")	8'7 (1'2)*
e) La evaluación con sentido, como recapitulación y reflexión sobre lo avanzado y la firmeza de dicho avance	8'9 (1'2)*
f) Oportunidades para que se puedan expresar las ideas (de alumnos y profesor) y para someterlas a prueba.	9'0 (0'9)*
g) Orientar y justificar la enseñanza y el aprendizaje por la comprensión y no por el examen	8'9 (1'1)*
h) Apropiación por los alumnos de formas de pensar próximas al trabajo científico	9'0 (1'1)*
i) El aprendizaje "sólido", justificado, de los conocimientos	9'0 (1'0)*
j) Hacer que el profesor vea más atractiva la enseñanza	9'1 (1'1)*
k) La clarificación de los objetivos del tema	8'9 (1'1)*

Las valoraciones son totalmente coherentes con las obtenidas en los cursos anteriores y aún mejores. El * indica que todas las puntuaciones son mayores que 7. La puntuación más alta la recibe el ítem j): "hacer que el profesor vea más atractiva la enseñanza".

Los resultados anteriores se pueden visualizar claramente en la gráfica adjunta, en donde se han recogido los resultados de la valoración sobre norma obtenida en el cuestionario C16p-b, de los tres cursos en que se ha pasado. En ella es fácil apreciar que en todos los casos las valoraciones están por encima de 7 en todos los aspectos en los que incide la enseñanza problematizada.



Por último comentaremos los resultados obtenidos con los instrumentos formados por los cuestionarios **C17p-a** y **C17p-b**. La diferencia con otros instrumentos era que se les pedía que valoraran razonablemente en qué medida creían que la enseñanza habitual favorece un aprendizaje "de verdad" y la identificación de aspectos de la enseñanza que favorecen el aprendizaje.

Para valorar el cuestionario abierto utilizamos el mismo estadillo que para las otras cuestiones abiertas.

Cuestionario C17p-a: sobre la enseñanza habitual de un tema determinado

Valora razonadamente en qué medida crees que la enseñanza habitual favorece un aprendizaje "de verdad" de este tema.

(Sugerencia: tanto si es positiva como negativa tu valoración, una forma de justificarla es identificar aspectos que, en tu opinión, son imprescindibles para el aprendizaje "verdadero" de este asunto y describir la forma en que son tratados en la enseñanza habitual)

En este cuestionario, la pregunta abierta, no pedía que se valorara la enseñanza recibida en el curso, sino la medida en que la enseñanza habitual

favorecía un aprendizaje “de verdad”. A la hora de analizarla hemos tenido en cuenta, en primer lugar si defendían o no la enseñanza habitual, y cuando la criticaban, qué aspectos echaban de menos. Hemos continuado utilizando para valorar los comentarios de los profesores los mismos criterios de valoración seguidos en los dos cuestionarios abiertos anteriores. Hemos identificado los aspectos que, en su opinión, no se contemplan en la enseñanza habitual y que consideran esenciales para un aprendizaje con comprensión. Lo que nos interesaba saber era si sus críticas reflejaban características genuinas de la estructura problematizada.

Los resultados obtenidos están reflejados en la **tabla 6.C17p-a**

Tabla 6.C17p-a.-Valoración por los profesores participantes en un curso sobre “Astronomía diurna” sobre en qué medida la enseñanza habitual favorece un aprendizaje de “verdad” (N = 28, 30 horas, año 2002)

Al “valoración de en qué medida la enseñanza habitual” favorece un aprendizaje “de verdad” de este tema , los profesores:	Astronomía N= 28 % (SD)
1. Manifiestan deficiencias en la enseñanza habitual:	100,0 (-)
- Se refieren a que no favorece los indicadores de apropiación de los alumnos (Orientación; Implicación/ motivación) y actitudes de alumnos y profesores	50’0 (9’6)
- Consideran que no favorece aprendizajes de alto nivel, de conocimientos ricos y estructurados	85’7 (6’7)
- no favorece la aproximación a características del trabajo científico	35’7 (9’2)
2. Aspectos que deberían ser imprescindibles para un aprendizaje “verdadero”.	50’0 (9’6)
- Se refieren a aspectos exclusivos de la estructura problematizada (plantear problemas, elaborar modelos de modo tentativo,...)	42’9 (9’5)
- Generar expectativas positivas en los profesores y los alumnos (actitudes positivas, implicación,...)	21’4 (7’8)
- Alude a aspectos relacionados con la estructura problematizada	28’6 (8’7)
3. Manifiestan expresamente que la enseñanza habitual favorece el aprendizaje:	0’0 (-)
- La enseñanza habitual favorece un aprendizaje rico y estructurado (funciona para alumnos implicados/motivados, que conocen el tema)	0’0 (-)
- Ventajas como rápida y cómoda y con pocas ideas (no compleja), segura para el profesor,...	14’3 (6’7)

Es sorprendente la respuesta de los profesores asistentes ya que no hay un sólo comentario que defienda la forma tradicional de la enseñanza, lo que hemos dado en denominar, enseñanza habitual. A la hora de argumentar sus críticas, los profesores se referían a aspectos genuinos de la enseñanza problematizada como fundamentales para un buen aprendizaje (y a sus carencias en la enseñanza habitual). Algunos de los comentarios que realizan los profesores son los siguientes:

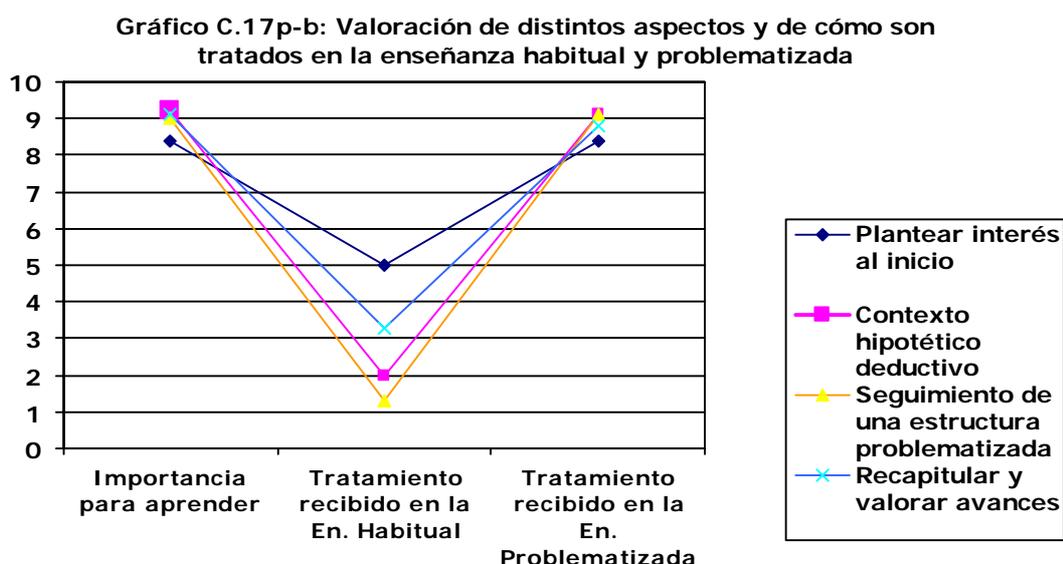
- (en la enseñanza habitual) *“se presenta el modelo como acabado, sin tener en cuenta los modelos de los alumnos... es imprescindible que el alumno asuma que el modelo es el resultado de un proceso para dar respuesta y solución a problemas que nos planteamos”* (planteamiento de problemas)
- *“es importante que el alumno haga observaciones, hipótesis, que dibuje simulaciones, que ensaye, que tenga un papel bastante activo en todo el proceso”* (características de la metodología científica y de la estructura problematizada)
- *“considero que en este cursillo he aprendido de verdad, podré describir y justificar los diferentes fenómenos observados, con un modelo cercano, asequible a mi y a mis futuros alumnos”* (sensación de aprendizaje, justificar lo que sabe, actitud positiva)
- *“Ahora veo mucho más claro que el tratamiento que le hemos dado en el curso mejora mucho el proceso de comprensión y aprendizaje dejando a la vez más claros los fallos del método tradicional”* (aprendizaje con comprensión)

La segunda parte del instrumento para aportar evidencia más fiable de que la estructura problematizada de los temas y cursos genera expectativas muy positivas en los profesores que la conocen con cierta profundidad, consistió en: la triple valoración comparativa que se presenta en la **tabla 6.C17p-b** y en el **gráfico 6.C17p-b**.

Tabla 6.C17p-b.-Triple valoración comparativa dada por los profesores participantes en un curso sobre "Astronomía diurna" estructurado de forma problematizada (N = 28, 30 horas, año 2002)

Valora de 0 a 10 los siguientes aspectos, según los criterios que se indican:	Importancia de este aspecto para aprender	Grado en que es adecuadamente tratado en	
		la enseñanza habitual	los materiales utilizados en el curso
1. Plantear al principio del tema su posible interés	8'4 (1'6)	5'0 (2'2)	8'4 (0'9)
2. Elaborar el modelo a modo de tentativa y realizar predicciones sobre el mismo (contexto hipotético- deductivo)	9'2 (0'8)	2'0 (2'5)	9'1 (0'8)
3. Organización y desarrollo del tema según una estructura problematizada	9'0 (1'1)	1'3 (1'5)	9'1 (1'1)
4. Establecimiento de un hilo conductor que permita recapitular con sentido y valorar el avance	9'1 (0'9)	3'3 (2'0)	8'8 (1'3)

Las diferencias entre la enseñanza problematizada y la habitual y entre la enseñanza habitual y la importancia para aprender son estadísticamente significativas ($\alpha < 0,001$)



Simplemente resaltar la elevadísima importancia para que los alumnos aprendan que conceden los profesores participantes a aspectos genuinos de la estructura problematizada (en torno a 9 sobre 10), y las enormes diferencias que perciben los profesores en cómo son contemplados dichos aspectos habitualmente y en nuestra propuesta.

Podemos afirmar, pues, basándonos en una evidencia rotunda, obtenida con instrumentos variados, consistentes y reiterados en 7 cursos de formación de profesores de Física y Química que la forma de organizar y estructura los temas y cursos como problemas es percibida muy positivamente por los profesores que consideran que:

- Mejoraría los indicadores de apropiación de los alumnos y sus actitudes
- Contribuiría a un aprendizaje conceptual y metodológico de alto nivel, y
- Haría más atractiva, interesante y eficaz la enseñanza para los propios profesores.

Pasamos, pues, a expresar las conclusiones globales de esta investigación y las perspectivas y problemas abiertos.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Cuando iniciamos este trabajo los grandes objetivos que nos marcamos eran dos:

- A)** Mostrar que es posible sistematizar –dentro de lo posible y deseable- la elaboración de estructuras problematizadas de temas y cursos de Física y Química, incorporando las innovaciones y los hallazgos de la investigación didáctica de los últimos años

- B)** Obtener evidencias que apoyen que dicha forma de estructurar los temas y los cursos produce mejoras sustanciales en el aprendizaje y actitudes de los alumnos y genera expectativas positivas en los profesores

En la primera parte de esta memoria hemos mostrado que es posible planificar los temas y cursos de Física y/o Química con una estructura problematizada, en torno a problemas fundamentales de interés. Durante más de 12 años hemos elaborado libros de texto y materiales para el aula con dicha estructura, y, fruto de este trabajo hemos propuesto, en el capítulo 2, un proceso para la elaboración de temas y cursos con una estructura como problema. Dicho proceso se ha constituido en una guía para orientar la realización de investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje de temas específicos de Física y Química (Diferencial, Astronomía, Óptica, Energía, Termoquímica, ...). En el capítulo 3, hemos mostrado ejemplos de cómo esta forma de estructurar los temas y cursos integra las distintas aportaciones de la investigación didáctica (introducción de conceptos y modelos, trabajos prácticos, resolución de problemas, relaciones CTSA, ...) de un modo articulado y coherente. Hemos resaltado, además, aspectos genuinos

aportados por la propia estructura. La recapitulación de lo hecho en esa primera parte se encuentra en el capítulo 4 de esta memoria (página 185).

En la segunda parte de este trabajo hemos formulado y sometido a pruebas la hipótesis según la cual dicha forma de estructurar los temas y cursos produce mejoras sustanciales en el aprendizaje y actitudes de los alumnos y genera expectativas positivas en los profesores.

La puesta en práctica del diseño experimental –constituido por un metaanálisis y 17 instrumentos diferentes- ha supuesto la participación de 3161 alumnos diferentes de 41 profesores distintos (distribuidos en más de 80 grupos experimentales y más de 80 grupos de control), con los primeros resultados tomados en el curso 1991-92 y los últimos en el 2003-2004. Hay que añadir, además, que el metaanálisis ha resumido los resultados obtenidos con 784 alumnos experimentales de 7 profesores colaboradores y 635 de control de 9 profesores diferentes. Además de alumnos, hemos obtenido resultados de 410 profesores en formación y 184 profesores en activo de Física y Química que han participado en cursos de formación.

La larga duración, la enorme variedad de instrumentos analizados y la homogeneización de variables conseguida (2 investigadores; 7 profesores colaboradores y 33 de control; alumnos de todos los cursos; distintos tipos de centro; temas diferentes;...), permiten aportar evidencia abrumadora sobre los efectos positivos de organizar la enseñanza de la Física y la Química con una estructura problematizada como la que hemos propuesto.

Con todos estos datos, analizados en el capítulo 6, a modo de resumen podemos afirmar las siguientes CONCLUSIONES:

- 1. Los alumnos que reciben instrucción según la estructura problematizada propuesta alcanzan mejores resultados en los indicadores de comprensión conceptual.** El metaanálisis realizado de los resultados en cuatro temas diferentes donde se comparan un total de 784 alumnos de 7 profesores colaboradores con 635 alumnos de 9 profesores de control, muestra enormes diferencias entre los alumnos que han aprendido dentro de una

estructura problematizada y los que no (las diferencias en indicadores esenciales de comprensión son significativas con $\alpha < 0'001$)

2. Los alumnos que han sido instruidos dentro de la estructura problematizada consiguen una mayor apropiación de lo tratado (orientación, recuerdo relevante e implicación/ motivación), manifiestan mejores actitudes hacia el aprendizaje de la Física y Química y valoran muy positivamente la propia estructura:

- A mitad del desarrollo de un tema, el 78'7 % de los alumnos experimentales (sólo el 33'5 % de los de control) expresaron ideas importantes, cualitativa y coherentemente, sobre lo que estaban tratando. El 83 % de los alumnos tratados es capaz de expresar el interés de lo que está haciendo y el 24'5 % lo enmarca dentro de un plan (28'4 % y 4'0 % respectivamente en los grupos de control). El número medio de frases-idea por alumno fue de 9'5 en los grupos tratados, frente a 3'0 en los no tratados)
- Al final de un tema o de una gran síntesis, el 92'7 % de los alumnos experimentales (el 25'0 % de los de control) fue capaz de expresar el interés de lo que había hecho, y un 37'2 % (un 7'0 % en los grupos de control) enmarcaba lo que había estado haciendo dentro de un objetivo más general, dentro de un plan. El 51'1 % escribió ideas importantes, globalizadoras sobre lo hecho (sólo un 5'0 % de los alumnos no tratados lo hizo). Todo ello se refleja en la riqueza de los textos escritos: sólo el 13'3 % de los alumnos de control escribió más de una frase-idea y el 75 % sólo escribió conceptos "suelos" (nombres, fórmulas sin interpretar,..). Por el contrario, más del 92% de los alumnos que han sido instruidos dentro de la estructura problematizada escribió más de una frase-idea y el 35'6 % más de 6 frases-idea.
- Un mes después de haber finalizado la enseñanza de la Mecánica o de la Teoría atómico-molecular, un 79'1 % de los alumnos experimentales (un 96'6 % en el caso de la profesora-investigadora)

recuerdan ideas importantes, globalizadoras, expresadas cualitativa y coherentemente, frente a un 28'6 % de los alumnos instruidos según la enseñanza habitual. Al responder a preguntas sobre los temas tratados, el 49'8 % de los alumnos experimentales (el 87'6 % en los grupos de la autora) expresaron once o más frases-idea indicadoras de apropiación, frente a un 2'1 % de los alumnos no tratados.

- Al responder un cuestionario sobre la barrera Cielo/Tierra, un mes después de finalizada la Mecánica, los alumnos que han seguido una estructura problematizada (de 4º de ESO y 1º de Bachillerato) obtienen un porcentaje de respuestas correctas mucho mayor que los alumnos de 4º de ESO o 1º de Bachillerato no tratados (las diferencias son estadísticamente significativas con $\alpha < 0'001$) y que los profesores en formación (410 alumnos del CAP, con $\alpha < 0'001$). Las diferencias entre los alumnos experimentales de Bachillerato y profesores en activo de Física y Química son favorables a los primeros, con $\alpha < 0'05$).

Podemos afirmar, pues, que tanto el metaanálisis realizado como los resultados que acabamos de resumir, muestran inequívocamente que la apropiación que produce el estar inmerso en un contexto problematizado no se refleja sólo en una mayor orientación, recuerdo relevante e implicación, sino que va acompañada de una más profunda comprensión conceptual de lo tratado.

- Los alumnos experimentales muestran una percepción más positiva sobre indicadores de apropiación y actitudes que los que siguen una enseñanza habitual (**tabla 6.C6(a)**, página 323). A título de ejemplo, tienen sensación de "orientación", de "haber aprendido de verdad" o de "haber mejorado su comprensión" en mucha mayor medida que los de control (diferencias significativas con $\alpha < 0'001$ y tamaños del efecto de 0'6 y mayores; TE = 0'6 significa que la percepción del alumno medio del grupo experimental equivale a la de un alumno situado en el 27 % mejor/ superior del grupo de

control). Consideran que la asignatura "ha aumentado su interés por aprender Física y Química"; "les gustaría que la asignatura de Física y Química del próximo curso se desarrollara igual que en éste", en mayor medida que los alumnos de control ($\alpha < 0'001$; TE de 0'35 y 0'56). Y, más importante aún, en contra de lo afirmado por algunas críticas superficiales citadas en esta memoria, ven más razonable que los alumnos de control "la relación entre el esfuerzo y lo aprendido" ($\alpha < 0'001$, TE de 0'34) y muestran menos rechazo hacia la Física y Química ($\alpha < 0'001$; TE de 0'34). Debe tenerse en cuenta, además, que la valoración se ha realizado respecto a norma (de 0 a 10) por grupos independientes, lo que –según nuestra experiencia– produce diferencias menores que cuando se hacen valoraciones comparativas.

- Las diferencias favorables, en indicadores de apropiación y actitudes, a favor de nuestra hipótesis son aún mayores en 3º de ESO, cuando se han medido después de un mismo tema (**tabla 6.C7**, página 327). Teniendo en cuenta que a partir de este curso la Física y Química es una asignatura optativa, este resultado tiene gran interés: es mucho más probable que los alumnos que han recibido una instrucción con una estructura problematizada elijan nuestra asignatura en el curso siguiente.
- Los alumnos tienen conciencia de que la propia estructura les ayuda a aprender mejor, tal como muestran los resultados al preguntarles por la medida en que la forma de organizar los temas les ha ayudado en aspectos importantes para el aprendizaje (**tablas 6.C8 (a) y (b)** 331 y 332).
- La elevada percepción positiva sobre la estructura problematizada se repite sistemáticamente: la apropiación y actitudes expresadas por cuatro grupos diferentes a lo largo de cuatro años es prácticamente invariable (**tabla 6.C10**, página 338).

- El 70'5 % de los alumnos de tres grupos de Magisterio de especialidades distintas, eligen la asignatura con estructura problematizada como una de las dos en las que tienen "mayor sensación de aprendizaje". La percepción de los estudiantes sobre el grado en que la forma de estructurar la enseñanza (habitual o problematizada) favorece distintos aspectos importantes del aprendizaje es favorable a nuestra hipótesis, tanto en los alumnos que han elegido la asignatura ($\alpha < 0'001$ y TE en torno a 3) como, y esto es importante, *en los que no la han elegido* ($\alpha < 0'01$ y TE en torno a 2). Este último resultado concuerda con los obtenidos en ESO y Bachillerato: la estructura problematizada aumenta las actitudes positivas hacia la Física y la Química y disminuye las negativas (genera un menor rechazo).
- Los alumnos experimentales valoran muy positivamente la estructura problematizada, tanto cuando se les pregunta directa o indirectamente (**tablas 6.C12 (b) y 6.C13**, páginas 344 y 348)

En cuanto a los profesores, podemos concluir que:

3. ***Los profesores que participan en cursos de formación donde tienen oportunidad de conocer la estructura propuesta para organizar los temas y cursos de Física y Química, muestran expectativas muy positivas sobre la medida en que dicha estructura mejoraría la enseñanza y el aprendizaje.*** A título de ejemplo, algunos de los resultados obtenidos con los 189 profesores tratados son:

- Los profesores que han participado en cursos de larga duración (más de 150 horas) creen que la estructura problematizada favorece en mayor medida que la habitual la consecución de aspectos muy importantes para el aprendizaje ($\alpha < 0'001$; TE entre 1'3 y 3'1), y manifiestan espontáneamente expectativas positivas sobre dicha forma de estructurar la enseñanza.

- Los profesores que han participado en cursos sobre temas específicos con una estructura problematizada valoran dicha forma de estructurar la enseñanza mucho más que la habitual respecto al grado en que pueden favorecer la implicación e interés de los alumnos, su orientación, la evaluación con sentido, el aprendizaje de conocimientos ricos y estructurados y la aproximación al trabajo científico ($\alpha < 0'0001$; TE entre 2 y 3'3). En su valoración cualitativa y abierta muestran, también, expectativas muy positivas, refiriéndose a la influencia de dicha estructura en los indicadores de apropiación de los alumnos, y a la utilidad de aspectos genuinos de la misma (índice como estrategia, recapitulaciones, etc)
- En particular, valoran muy positivamente el efecto de dicha estructura sobre el propio profesor ("favorece la orientación del profesor" -8'5, 8'9 y 8'7 sobre 10, en tres grupos distintos-; "hace que la enseñanza sea más atractiva para el profesor" -8'3, 8'7 y 9'1 sobre 10; "clarifica los objetivos del tema" -8'2, 8'4 y 8'9).
- Por último, los profesores ven que los aspectos genuinos de la enseñanza problematizada son aspectos muy importantes para aprender (**tabla C17p-b**, página 385) que no son contemplados adecuadamente en la enseñanza habitual.

En un reciente artículo sobre qué podemos esperar razonablemente de la investigación didáctica, Robin Millar (2003) abogaba por la necesidad de plantear y responder a preguntas que relacionaban investigación y práctica en el aula, tales como "*¿podemos mostrar que el enfoque X funciona mejor que el Y para conseguir el objetivo Z?*". En este sentido, podemos afirmar, basándonos en la cantidad y convergencia de las evidencias obtenidas que, efectivamente, la organización de los temas y cursos con una estructura de problema -como la que hemos desarrollado en este trabajo- produce mejoras sustanciales en la enseñanza y el aprendizaje de la Física y Química (medidas como cambio actitudinal,

metodológico y conceptual), constituyendo una alternativa global, sistematizada y mejor que la forma habitual de planificar la enseñanza. Los numerosos textos y materiales para el aula elaborados y probados en el curso de esta investigación son ejemplos de dicha alternativa.

PERSPECTIVAS Y NUEVOS PROBLEMAS

Como hemos dicho, la forma de planificación de los temas y cursos propuesta en este trabajo, se ha convertido en la guía orientadora para la realización de Tesis Doctorales sobre la enseñanza y el aprendizaje de temas específicos dentro de nuestro equipo. Un camino abierto es, pues, la realización de más investigaciones sobre temas específicos tanto en el nivel secundario como en el universitario.

Unido a lo anterior, un aspecto cada vez más necesario es abordar la formación tanto inicial como en activo de los profesores (Gil, Furió y Gavidia, 1998; Furió y Carnicer, 2001). Aunque, como se ha mostrado, los profesores que participan en nuestros cursos de formación adquieren expectativas muy positivas sobre la nueva propuesta, los pocos datos de que disponemos nos indican que, aún así, existe bastante diferencia entre estos profesores y los profesores colaboradores (tal como se han definido en esta investigación). Es necesario profundizar en el desarrollo profesional de los profesores hasta conseguir que alcancen el nivel de los colaboradores: llevar a cabo una enseñanza problematizada requiere una formación sólida y continua, que aúne conocimientos científicos, didácticos y actitud positiva. Se trata de un aspecto donde el apoyo institucional es necesario, con decisiones de política educativa que favorezcan este desarrollo profesional. El proceso de convergencia europea convertirá esta cuestión en urgente a corto y medio plazo.

Por último, un nuevo problema se plantea ante la creciente preocupación por la situación de nuestro planeta, inmerso en una verdadera crisis medioambiental, que exige una reorientación en los objetivos de la formación científica (Edwards,

Gil, Vilches y Praia, 2004). No sabemos, con certeza, cómo será la educación científica en este siglo que acaba de empezar, pero seguro que se separará de la visión neutra y aséptica de la ciencia transmitida en el siglo pasado y tendrá entre sus objetivos prioritarios formar ciudadanos para la toma de decisiones y acciones ante la crisis medioambiental. Ello afectará al currículum común para todos los estudiantes y, sin duda, requerirá seleccionar –en esa etapa- nuevos problemas para organizar la enseñanza a partir de ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Índice de autores

A

Acevedo, (1993) · 55
Alonso, (1989) · 257
Alonso, Gil y Martínez Torregrosa, (1992_a) · 57
Alonso, Gil y Martínez Torregrosa, (1992_b) · 57
Alonso, Gil, Martínez Torregrosa, (1991) · 164
Alonso, Gil, y Martínez Torregrosa, (1996) · 56
Anderson, (1997) · 72
Andersson y Karrquist, (1983) · 124
Arcá y Guidoni, (1989) · 91
Arnold y Millar, (1996) · 42
Arons, (1988) · 84
Ausubel, (1978) · 19, 24, 53, 77
Azcona y Furió, (1993) · 20

B

Bachelard, (1938) · 24, 27
Baird, (1986) · 56
Banet y Núñez, (1988) · 20
Banet y Núñez, (1989) · 20
Becerra et al., (2004) · 28, 111, 175
Becker, (2003) · 242
Becker, (2003) · 242
Beltrán, Furió, Gil, et al. (1976) · 108
Beltrán, Furió, Gil, et al., (1977) · 108
Benarroch, (2000) · 465
Bencze y Hodson, (1999) · 33
Black y Harrison, (2000) · 57, 243, 340
Black, (2000) · 69
Boyle, (1985) · 458
Brandsford, Brown y Cocking, (2000) · 38, 61, 69, 204
Briscoe y Peters, (1997) · 258, 377
Brook, Briggs y Driver, (1984) · 465

Brown, (1988) · 149
Bunge, (1978) · 84, 86, 92
Burbules y Lin, (1991) · 71
Burbules y Linn, (1991) · 45
Butterfield, (1958) · 149

C

Caamaño, (1994) · 20, 465
Caamaño, (2003) · 20
Caballer y Gímenez, (1992) · 20
Caballer y Gímenez, (1993) · 20
Caballer y Serra (2001) · 49
Calatayud, et al., (1978)_a · 108
Calatayud, et al., (1978)_b · 108
Calatayud, et al., (1988) · 108, 172
Campanario, (2000) · 204
Cañal y Porlán, (1987) · 71
Cañal, (1990) · 20, 21
Cañal, (1991) · 20
Caramazza et al., (1981) · 22
Carbonell y Furió, (1987) · 20
Carrascosa et al., (1983) · 452
Carrascosa y Gil, (1992) · 19
Carrascosa, (1983) · 19, 148
Carrascosa, (1985) · 19, 148, 452
Carrascosa, (1987) · 21, 27, 83
Carrascosa, Fernández, Gil y Orozco, (1993) · 56, 66
Carrascosa, Martínez Sala y Martínez Torregrosa, (2000). · 109, 197
Carrascosa, Martínez Sala y Martínez Torregrosa, (2002) · 109, 197
Casadellà y Bibiloni, (1985) · 65
Casadellà y Sanmartí, (1987) · 47
Casado, Prieto y Alonso, (1998) · 241
Cervantes, (1987) · 19

Ch

Chalmers, (1984) · 84, 132
Chalmers, (1992) · 87, 90, 133, 144
Chauvet et al., (1999) · 136
Chevelard, (1985) · 63

C

Clement, (1983) · 24
Cleminston, (1990) · 45
CLIS, (1987) · 41
Cobb, Wood, y Yackel, (1991) · 45
Coe, (2000) · 242
Cohen, (1982) · 147, 148, 452
Cohen, (1987) · 148
Cohen, (1988) · 241, 243
Cohen, (1989) · 148, 452
Collis et al., (1998) · 124
Cubero y García, (1994) · 63
Cuccio-Schirripa y Steiner, (2000) · 164, 203

D

De la Rosa, et al., (1984) · 20, 124
de Manuel y Grau, (1996) · 20
Désautels et al., (1993) · 64, 65
Develay, (1992) · 64
Doménech et al., (2003) · 214, 222
Doménech y Doménech, (1990) · 24
Doménech, (2000) · 21, 109, 214, 222, 257, 279, 281
Driver y Easeley, (1978) · 22
Driver y Oldham, (1986) · 41
Driver y Olham, (1986) · 71
Driver, (1985) · 465
Driver, (1986) · 23, 29, 30, 31, 33
Driver, (1988) · 33
Driver, (1992) · 53
Driver, Guesne y Tiberghien, (1989) · 19, 465
Driver, Newton y Osborne, (2000) · 97
Dumas-Carré, (1987) · 78
Dumas-Carré, Gil y Goffard, (1990) · 175
Duschl y Gitomer, (1991) · 42, 44, 45, 50
Duschl, (1994) · 45

Duschl, (1997) · 71
Duschl, (2000) · 45

E

Edwards, Gil, Vilches y Praia, (2004) · 178, 411
Einstein e Infeld, (1939) · 149, 457
Engel y Driver, (1986) · 42

F

Fernández, (2000) · 64
Fernández et al., (1988) · 20
Fernández et al., (2002) · 56, 64, 187
Fernández, (1987) · 19
Fillon, (1991) · 45
Fleer, (1996) · 20, 124
Fredette y Lochhead, (1981) · 42
Furió et Al, (1993) · 20
Furió et al., (2000) · 20, 46
Furió et al., (2002) · 20
Furió y Carnicer, (2001) · 410
Furió y Gil, (1978) · 9, 71, 95, 196
Furió y Vilches, (1997) · 187
Furió, (1983) · 20, 465
Furió, (1986) · 20
Furió, (1996) · 148
Furió, et al., (1979) · 108
Furió, Guisasola et al., (2003) · 197
Furió, Iturbe y Reyes, (1994) · 78, 82

G

Gabel, (1994) · 76, 78, 203
Galilei, (1994) · 172
Galili y Hazan, (2000_a) · 124, 139
Galili y Hazan, (2000_b) · 124, 139
Galili, (1996) · 20
García Hourcade y Rodríguez de Ávila, (1985) · 19
Garret y Hackling, (1995) · 465
Garrett et al., (1990) · 79
Garritz e Irazoque, (2004) · 78
Gené, (1986) · 20, 27, 77, 78
Gené, (1991) · 71

Gibson Y Chase, (2002) · 55
 Gil y Carrascosa, (1985) · 44, 48
 Gil y Carrascosa, (1990) · 24
 Gil y Carrascosa, (1992) · 148
 Gil y Carrascosa, (1994) · 38, 39, 107
 Gil y Martínez Torregrosa, (1983) · 78
 Gil y Martínez Torregrosa, (1984) · 28, 174
 Gil y Martínez Torregrosa, (1986) · 28
 Gil y Martínez Torregrosa, (1987) · 71
 Gil y Martínez Torregrosa, (1987_a) · 28, 81, 175, 452
 Gil y Martínez Torregrosa, (1987_b) · 53, 196
 Gil y Payá, (1988) · 77
 Gil y Pessoa, (1994) · 78, 79
 Gil, (1982) · 9, 452
 Gil, (1983) · 9, 33, 44, 48, 65, 77
 Gil, (1986) · 21
 Gil, (1991) · 94
 Gil, (1992) · 148
 Gil, (1993) · 9, 43, 65, 67
 Gil, Carrascosa et al., (1999) · 33, 39
 Gil, Carrascosa y Martínez Terrades, (2000) · 39
 Gil, Carrascosa, Furió y Martínez Torregrosa, (1991)
 · 19, 42, 48, 51, 71, 77, 79
 Gil, Carrascosa, Furió y Martínez. Torregrosa,
 (1991) · 77
 Gil, Colombo y Salinas, (1993) · 65
 Gil, Dumas-Carré et al., (1990) · 78
 Gil, Furió et al, (1999) · 75, 82, 95
 Gil, Furió y Gavidia, (1998) · 410
 Gil, Guisasola et al., (2002) · 39
 Gil, Martínez Torregrosa et al., (1993) · 176
 Gil, Martínez Torregrosa y Senent, (1988) · 78, 79,
 82
 Gil, Martínez Torregrosa y Verdú, (1989) · 84
 Gil. et al., (1979) · 108
 Gilbert et al., (1982) · 22
 Gilbert et al., (1998_a) · 91
 Giordan (1978) · 65
 Giordan, (1985) · 22
 Glass, et al., (1981) · 213, 241
 Goffard, (1990) · 78
 Goldberg y McDermont, (1986) · 20, 124
 Gómez Crespo y Pozo, (2003) · 465
 Gómez Crespo, (1996) · 20, 465
 Gonida, Kiosseoglou, Psillos, (2003) · 70

González y Novak, (1993) · 37, 71
 González, (1994) · 78, 257
 Granda, (1988) · 20
 Gruender, Tobin, (1991) · 45
 Grupo Alkalí, (1990) · 20
 Guisasola y de la Iglesia, (1997) · 71
 Guisásola y Furió, (1998) · 20
 Guisásola, (1996) · 21

H

Hand y Prain, (2002) · 57, 205
 Hansen y Monk, (2002) · 37
 Harlen, (1992) · 31
 Harrè, (1986) · 89
 Hashweh, (1986) · 44, 46
 Hedges y Olkin, (1985) · 241
 Helm, (1980) · 24
 Hendry y King, (1994) · 37, 72
 Hernández, (1997) · 21
 Hewson y Thorley, (1989) · 42
 Hewson, (1981) · 33
 Hewson, (1990) · 132
 Hewson, (1992) · 40
 Hierrezuelo y Montero, (1988) · 452
 Hierrezuelo y Montero, (1989) · 19
 Hirn y Viennot, (2000) · 137
 Hodson, (1985) · 55, 62, 65, 77, 158
 Hodson, (1988) · 33
 Hodson, (1992) · 17, 43, 50, 58, 64, 101
 Hodson, (1992_b) · 77
 Hodson, (1993) · 65
 Hodson, (1996) · 51
 Hogan y Maglienti, (2001) · 229
 Holton, (1976) · 85, 88, 149, 457
 Holton, (2001) · 88, 457
 Holton, Rutherford y Watson, (1982) · 149, 457

I

Iizuka, (1983) · 135
 Izquierdo y Sanmarti, (2003) · 205
 Izquierdo, (2000) · 90

J

James y Smith, (1985) · 55
Jiménez Aleixandre, (1987) · 20
Jiménez Aleixandre, (1989) · 21
Jiménez Aleixandre, (1998) · 49, 50, 88
Jiménez Aleixandre, (2000) · 17, 40
Jiménez Aleixandre, (2001) · 49
Jiménez Aleixandre, (2003) · 49
Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, (2000) · 50,
51
Jorba y Sanmartí, (1995) · 164
Josuha y Dupin, (1993) · 64
Justi y Gilbert, (2000) · 92

K

Kaminski y Viennot, (1989) · 20, 124
Kempa y Ayob, (1995) · 53, 54
Képler, (1604) · 137
Kittleson y Southerland, (2004) · 204
Koch, (2001) · 57
Koliopoulos y Rovaniš, (1998) · 19
Koyré, (1979) · 149
Koyré, (1980) · 149
Kuhn, (1971) · 40
Kuhn, (1993) · 49

L

Laudan, (1984) · 50
Lazarowitz y Tamir, (1994) · 76
Leach et al., (1995) · 20
Leach et al., (1996_a) · 20
Leach et al., (1996_b) · 20
Leach y Scott, (2000) · 46
Lemke, (1997) · 88
Lemke, (2001) · 46, 48
Linn, (1987) · 53, 55, 56

Ll

Llorens et al., (1989) · 47

Llorens, (1987) · 21
Llorens, (1988_a) · 465
Llorens, (1988_b) · 47
Llorens, (1991) · 465

L

Locke, (1997) · 88
Longbottom y Butler, (1999) · 89
López-Gay et al., (2003) · 283
López-Gay, (2002) · 21, 106, 109, 150, 214, 219,
257, 279, 283
López-Gay, Martínez Torregrosa, y Gras, (2002) ·
214, 219

M

Macedo y Soussan, (1985) · 19
Maloney, (1994) · 81
Martínez Sebastiá, (2003) · 20, 106, 109, 111, 112,
150, 214, 217, 257, 279, 281
Martínez Torregrosa et al., (2003) · 75
Martínez Torregrosa y Osuna, (2001) · 20
Martínez Torregrosa y Osuna, (2001) · 24, 122, 124
Martínez Torregrosa y Verdú, (1993) · 191, 457
Martínez Torregrosa y Verdú, (1997) · 111
Martínez Torregrosa, (1987) · 28, 78, 81, 175, 257
Martínez Torregrosa, (2001) · 26
Martínez Torregrosa, Climent y Verdú, (1994) · 75
Martínez Torregrosa, Doménech y Verdú, (1993) ·
24, 75, 95, 133, 333
Martínez Torregrosa, et al., (2002_a) · 24
Martínez Torregrosa, Gil y Verdú, (1999) · 164
Martínez Torregrosa, López-Gay, Gras, y
Torregrosa, (2003) · 214
Martínez Torregrosa, Osuna y Verdú, (1999) · 214
Martínez Torregrosa, Osuna y Verdú, (1999) · 122
Martínez Torregrosa, Verdú et al., (1991) · 46, 108,
197, 258
Martínez Torregrosa, Verdú et al., (1993) · 108, 197,
258
Martínez Torregrosa, Verdú et al., (1995) · 108, 172,
257

Martínez Torregrosa, Verdú et al., (1998) · 108, 197, 258
 Martínez Torregrosa, Verdú et al., (1999) · 108, 172, 257
 Martínez Torregrosa, Verdú y Gil, (1999) · 57
 Martínez, Torregrosa, et al., (2002_a) · 448
 Martínez. Torregrosa, Verdú et al., (1997) · 108
 Mason, (1985) · 146, 452, 457
 Mason, (1986) · 49, 149, 457
 Mathews, (1994_a) · 146, 149, 452
 Maurines, (1992) · 20
 Maurines, (2003) · 20
 May y Etkina, (2002) · 164, 204, 205
 McDermott et al., (1987) · 452
 McDermott, (1984_a) · 19
 McDermott, (1984_b) · 19
 Meichstry, (1993) · 64, 65
 Metz, (1998) · 60, 61
 Mikropoulos, (2003) · 37
 Millar (2003) · 409
 Millar y Driver, (1987) · 65, 77
 Millar, (1989) · 33, 43
 Monk y Osborne, (1997) · 84
 Moreno, (1986) · 17

N

National Research Council, (2001) · 38, 132
 National Science Education Standards, (1996) · 9, 73
 Newton, Driver y Osborne, (1999) · 49, 97
 Nolen, (2003) · 55, 56, 57
 Novak y Gowin, (1988) · 71
 Novak, (1988) · 18
 Novak, (2002) · 37
 Novick y Nussbaum, (1978) · 465
 Novick y Nussbaum, (1981) · 465
 Núñez y Banet, (1996) · 20
 Nussbaum, (1989) · 20

O

Ogborn et al., (1996) · 63, 88
 Ogborn, et al., (1998) · 203
 Oliva, (1999) · 42

Oñorbe, (1993) · 78
 Oñorbe, (2003) · 78
 Osborne et al., (1983) · 22, 124
 Osborne y Wittrock, (1983) · 19, 33
 Osborne y Wittrock, (1985) · 30, 33, 37
 Osborne, (1996) · 51, 86, 89
 Osborne, et al., (1993) · 20
 Osborne, Simons y Collins, (2003) · 55, 56, 339
 Osuna, (2001) · 20, 125, 130, 214, 215
 Osuna, (2001), · 122
 Osuna, (2004) · 106, 109, 111, 131, 139, 150, 214, 215, 278, 279, 280
 Osuna, et al., (1998) · 108
 Otero, (1985) · 95

P

Patterson, (2001) · 88
 Payá, (1991) · 77, 78, 257
 Pedrinaci, (1996) · 20
 Perales y Nieves, (1988) · 124
 Perales, (1997) · 20
 Perales, (2000) · 78
 Peters, (1982) · 452
 Pfundt y Duit, (1994) · 148
 Pfundt y Duit, (1998) · 148
 Pfundt y Duit, (2004) · 19, 148, 452
 Pfundt, (1981) · 20
 Piaget, (1969) · 17
 Piaget, (1971) · 24
 Popper, (1962) · 84
 Posada, (1999) · 465
 Posner, Strike, Hewson y Gerzog, (1982) · 33, 40
 Pozo et al., (1991) · 43, 47, 465
 Pozo, (1999) · 33
 Prain, Hand y Yore, (2003) · 57, 164
 Prieto y Blanco, (2000) · 465
 Prieto, Blanco y González, (2000) · 465

R

Ramírez, (1990) · 78, 257
 Ramírez, Gil y Martínez Torregrosa, (1994) · 28, 175, 257

Resnick, (1983) · 33
Reyes, (1991) · 78, 257
Rioja y Ordóñez, (1999) · 149, 452
Rivas, (1986) · 56, 57
Rodríguez y Escudero, (2000) · 53, 204

S

Salinas y Colombo, (1992) · 77
Salinas, (1994) · 78
Salinas, (2004) · 78
Sanmartí et al, (1990) · 77
Sanmartí, (1990) · 21
Sanmartí, (2002) · 53, 205
Sanmartí, García e Izquierdo, (2002) · 205
Sauleda y Martínez, (1994) · 72
Saxena, (1991) · 124
Schaverien y Cosgrove, (1999) · 31, 37, 72
Schaverien y Cosgrove, (2000) · 31, 33, 37, 38, 72
Schibecci, (1984) · 55
Sebastiá, (1984) · 19
Selley, (1996_a) · 20, 124
Selley, (1996_b) · 20, 124
Sére, (1986) · 465
Serrano, (1988) · 55
Sharp, (1996) · 20
Shuell, (1987) · 42, 45
Shymanky et al., (1993) · 42
Sobes y Viches, (1997) · 178
Solbes y Vilches, (1989) · 187
Solbes y Vilches, (1997) · 187
Solbes, (1986) · 20
Solbes, (2002) · 178
Solomon et al., (1993) · 90
Solomon, (1987) · 47, 53
Solomon, (1991) · 43
Stavi, (1990) · 465
Stinner, (1995) · 33

T

Tiberghien, (1994) · 92

Toulmin, (1977) · 40
Trowbridge y McDermott, (1980) · 452
Trowbridge y McDermott, (1981) · 452

V

Valdés et al., (2002) · 187
Valdés, Gil, Vilches y Martínez Torregrosa, (2004) · 39
Varela y Martínez, (1997) · 78
Varela, (1994) · 20, 78
Varela, et al, (1989) · 20
Verdú y Martínez Torregrosa, (2001) · 111
Verdú, (1990) · 84
Verdú, Martínez Torregrosa y Gil, (2001) · 95
Verdú, Martínez Torregrosa y Osuna, (2002) · 75, 448
Viennot y Chauvet, (1997) · 133
Viennot, (1976) · 18, 452
Viennot, (2002) · 124
Viennot, (2003) · 203
Vigotsky, (1973) · 24

W

Wandersee, Mintzes y Novak, (1994) · 19, 25, 40, 41, 49, 101, 113
Welti, (2002) · 20
White y Gunstone, (1989) · 42, 45
Wong y Pugh, (2001) · 60

Y

Yager y Penick, (1986) · 55
Yore, Hand y Prain, (2002) · 56

Z

Zoller, (1999) · 33

Referencias bibliográficas

ACEVEDO, J. A. (1993), Actitudes hacia el aprendizaje de las ciencias físicas, naturales y matemáticas en BUP y COU. Un estudio sobre tres dimensiones. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 13-14

ALONSO, M., (1989); Propuesta de la evaluación en Física y análisis de la evaluación habitual. Tesis de Master (Universitat de València), 261

ALONSO, M., GIL, M. y MARTINEZ TORREGROSA, J., (1991); Propuesta de la evaluación en Física y análisis de la evaluación habitual. (C.I.D.E.)

ALONSO, M., GIL, D. y MARTINEZ TORREGROSA, J., (1992_a); Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 127-138.

ALONSO, M., GIL, D. y MARTINEZ TORREGROSA, J., (1992_b); Concepciones espontáneas de los profesores de Ciencias sobre la evaluación: Obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5 (2), pp. 18-38.

ALONSO, M.; GIL, D. Y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1996) Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26

ANDERSON, O. R., (1997), A Neurocognitive Perspective on Current Learning Theory and Science Instructional strategies, *Science Education*, 81, 67-89

ANDERSSON, B. y KARRQUIST, C., (1983). How Swedish aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal Science Education*, 5 (4), 387-402.

ARCA, M.; GUIDONI, P.; (1989); Modelos infantiles y modelos científicos sobre la morfología de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2); 162-167

ARNOLD M. y MILLAR, R., (1996), Learning the scientific "story": a case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. *Science Education* 80(3), 249-281 (pp, 13)

ARONS, A. B., (1988) Historical and philosophical perspectives attainable in introductory physics courses. *Educational Philosophy and Theory*, 20 (2), 13-23.

AUSUBEL, D. P., (1978), *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*, (Trillas: México) (1ª edición, en inglés, en 1968)

AZCONA, R. y FURIÓ, C., (1993), Contribución de la Historia y Filosofía de la Ciencia a la comprensión de los conceptos "cantidad de sustancia" y "mol". *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 209-210

BACHELARD, G, (1938), *La formation de l'esprit scientifique* (Vrin: Paris). 15

BAIRD, J., (1986), Improving learning through enhanced metacognition. A classroom study, *European Journal of Science Education*, 8(3), 263-282.

BANET, E.; NUÑEZ, F.; (1988); Ideas de los alumnos sobre la digestión: Aspectos anatómicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1); 30-37

BANET, E. Y NUÑEZ, F., (1989), Ideas de los alumnos sobre la digestión: aspectos fisiológicos, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 35-44

BECERRA LABRA, C. GRAS-MARTÍ, A. y MARTINEZ-TORREGROSA J., (2004), Análisis de la resolución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 275-286

BECKER. L. (2003) Effect Size (ES) <http://web.uccs.edu/lbecker/Psy590/es.htm>

BELTRÁN, J., FURIÓ, C. GIL, D., GIL, G., LLOPIS, R. y SÁNCHEZ, A., (1976), *Física y Química de 2º BUP*, Anaya: Salamanca

BELTRÁN, J., FURIÓ, C. GIL, D., GIL, G., LLOPIS, R. y SÁNCHEZ, A., (1977), *Física y Química de 3º BUP*, Anaya: Salamanca

BENARROCH, A. (2000). Del modelo cinético corpuscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique* 23, 95-108

BENCZE, L. Y HODSON, D. (1999) Changing Practice by Changing Practice: Toward More Authentic Science and Science Curriculum Development, *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (5), 521-539

BLACK, P. (2000) Physics Education in the New Millenium. En Black, Drake y Jossem (eds) Physics:2000: Physics as it enters the New Millenium IUPAP <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/IUPAP/P2000.pdf>

BLACK, P. y HARRISON, C., (2000), Formative Assessment, en Monk, M. y Osborne, J. (eds), *Good Practice in Science Teaching. What research has to say*, 25- 40, (Open University Press: Buckingham)

BOYLE, R. (1985). *Física, Química y filosofía mecánica*, especialmente los comentarios de C. Solis, Madrid: Alianza Editorial

BRANSFORD, J.; BROWN, A. y COCKING, R. (eds.), (2000), *How People Learn: Brain, Experience and School* (Expanded Edition), NRC (National Academy Press). (Puede leerse en www.nap.edu.)

BRISCOE C. y PETERS, J., (1997), Teacher Collaboration across and within Schools: Supporting Individual Change in Elementary Science Teaching, *Science Education* 81: 51-65

BROOK, A., BRIGGS, H. y DRIVER, R., (1984); *Aspects of secondary students understanding of the particulate nature of matter*, *Children's Learning in Science Project*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds (Leeds)

BROWN, H.I., (1988). *La nueva filosofía de la ciencia* Barcelona: Península.

BUNGE, M., (1978), *Filosofía de la Física*, (Ariel: Barcelona)

BURBULES, N. Y LINN, M., (1991), Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241

BUTTERFIELD, H., (1958). *Los orígenes de la ciencia moderna* Madrid: Taurus

CAAMAÑO, A., (1994) Concepcions dels alumnes sobre la composició i estructura de la matèria i sobre el canvi químic. Comprensió de les formes simbòliques de representació. Tesis Doctoral. Facultat de Químicas. Universidad de Barcelona.

CAAMAÑO, A., (2003) La enseñanza y el aprendizaje de la Química, en Jiménez Aleixandre M. P., (coord) *Enseñar ciencias*. 203-240; Editorial Graó: Barcelona,

CABALLER, M. J.; GIMENEZ, I.; (1992); Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, (2); 172-180

CABALLER, M. J.; GIMENEZ, I.; (1993); Las ideas del alumnado sobre el concepto de célula al finalizar la Educación General Básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1); 63-68

CABALLER, M. J., y SERRA, R. (2001) *Aprender a leer y a escribir ciencias*, Alambique 30,

CALATAYUD, M. L. et Al., (1978_a). *Trabajos prácticos de Física*. Valencia: ICE de la Universidad de Valencia.

CALATAYUD, M. L. et Al., (1978_b). *Trabajos prácticos de Química*. Valencia: ICE de la Universidad de Valencia.

CALATAYUD, M. L. et Al., (1988); *La construcción de las ciencias físico-químicas*. (Programa-guía de trabajo y comentarios al profesor, 1990 del alumno). Nau Llibres. Valencia.

CAMPANARIO, J. M. (2000), El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*. 18 (3), pp.369-380. [187]

CAÑAL, P., (1990), La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.

CAÑAL, P., (1991), Las concepciones de los alumnos y alumnas sobre la nutrición de las plantas verdes. *Investigación en la Escuela*, 13, 97-113

CAÑAL, P.; PORLAN, R.; (1987); Investigando la realidad próxima: un modelo didáctico alternativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 89-97

CARAMAZZA, A., MCCLOSKEY, M. y GREEN, B., (1981), Naive beliefs in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognitions*, 9, 117-123

CARBONELL, F.; FURIO, C.; (1987); Opiniones de los adolescentes respecto al cambio sustancial de las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1); p 3-10

CARRASCOSA, J., (1983), Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, 63-65

CARRASCOSA, J., (1985), Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 230-234

CARRASCOSA, J., (1987), *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral (Servei de Publicacions de la Universitat de València: València)

CARRASCOSA, J. Y GIL, D., (1992), Concepciones alternativas en Mecánica, *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 113-120

CARRASCOSA, J., FERNÁNDEZ, I; GIL, D., y OROZCO, A., (1993), Análisis de algunas visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencia y las características del trabajo científico, *Enseñanza de las Ciencias*, nº Extra (IV Congreso), 43-44

CARRASCOSA, J., MARTÍNEZ SALA, Y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (2000) y (2002) *Física y Química 1º Bachillerato de Ciencias Santillana*: Madrid

- CASADELLÀ, J. y BIBILONI, L., (1985), La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las dificultades de su aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias* 3(3) 217-224
- CASADELLÀ, J. y SANMARTÍ, N., (1987), L'ensenyament del concepte de força i especialment del de força de gravetat, *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 53-58
- CASADO A., PRIETO L., y ALONSO J., 1998, El tamaño del efecto de la diferencia entre dos medias: ¿estadísticamente significativo o clínicamente relevante? http://www.atheneum.doyma.es/Socios/sala_l/lec05est.htm
- CERVANTES, A., (1987), Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 66-77
- CHALMERS, A., (1984). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Madrid: Siglo XXI).
- CHALMERS, A., (1992). *La ciencia y como se elabora.* (Madrid: Siglo XXI).
- CHAUVET F., HIRN, C. y VIENNOT, L., (1999). Investigation on teacher transformations when implementing teaching strategies. *European project: Science teacher training in an information society* (European commission DG XII contract SOE2 CT97 2020).
- CHEVELARD, Y., (1985) La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné. (La pensée sauvage: Grenoble)
- CLEMENT, J., (1983), A conceptual model discussed by Galileo and intuitivist used by physics students, en Genter D. y Stevens (eds), *Mental Models* (Erlbaum, Hillsdale: N.Y.)
- CLEMINSTON, A., (1990), Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science, *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 429-445
- CLIS (CHILDREN'S LEARNING IN SCIENCE PROJECT), (1987); *CLIS in the classroom Approaches to Teaching. The Particulate Theory of Matter*, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, Leeds.
- COBB, P., WOOD, T. Y YACKEL, E. (1991), Analogies from the philosophy and sociology of science for understanding classroom life, *Science Education*, 75(1), 23-44
- COE, R., (2000), *What is an "Effect Size"?* A brief introduction <http://www.cemcentre.org/ebeuk/research/effectsiz/ESbrief.htm> A guide for users <http://www.cemcentre.org/ebeuk/research/effectsiz/ESquide.htm>
- COHEN J. (1988), *Statistical power analysis for behavioral sciences.* Nueva York, NY: Academic Press
- COHEN, I. B., (1982). El descubrimiento newtoniano de la gravitación. *Investigación y Ciencia*, Mayo, 111-120.
- COHEN, I. B., (1987). Todos somos newtonianos. *El País Extra*, 17 de Junio
- COHEN, I. B., (1989). *El nacimiento de la nueva física.* Madrid: Alianza Universidad.; 126, 128
- COLLIS, K. F., JONES, B. L., SPROD, T., WATSON, J. M., y FRASER, S. P., (1998). Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. *International Journal of Science Education*, 20 (1), 45-66.

- CUBERO, R. Y GARCÍA, E., (1994), Carta de presentación para un debate sobre el conocimiento escolar promovido por la revista *Investigación en la Escuela* para su número 23, (comunicación a D. Gil)
- CUCCIO-SCHIRRIPA, S. y STEINER, H. E., (2000), Enhancement and analysis of science question level for middle school students *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (2), 210-224
- DE LA ROSA, C.; MAYER, M.; PATRIZI, P. y VICENTINI-MISSONI, M., (1984). Common sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6 (4), 387-397.
- DE MANUEL, J. y GRAU, R., (1996), Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamiento biológico, *Alambique*, 7, 53-63
- DESAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNEE, B y RUEL, F, (1993), La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique, *Didaskalia*, 1, 49-67
- DEVELAY, M., (1992), De l'apprentissage à l'enseignement (ESF: Paris)
- DOMENECH, A. y DOMENECH, J. L., (1990), *La barrera Cielo/Tierra aún existe (Contra el cambio conceptual puntual)*. Tesis de Master dirigida por J. Martínez. Torregrosa. (Universitat de València)
- DOMENECH, J. L., (2000), L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora. (Tesis. Universitat de Valencia).
- DOMENECH, J. L., GIL-PÉREZ, D. GRAS, A., GUISÁOSLA, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. SALINAS, J. TRUMPER, R. et VALDÉS P.; (2003), La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Cuadernos Brasileiros de Ensino de Física*, 20 (3), 285-311
- DRIVER, R., (1985); Más allá de las apariencias. Capítulo 7 del libro *Children's' ideas in Science* (Open University) (Versión española, DRIVER R; GUESNE E & TIBERGHIEEN, A. (ed.). 1989. *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. (Ed. MORATA MEC; Madrid).
- DRIVER, R., (1986), Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-16.
- DRIVER, R., (1988), Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículum en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120
- DRIVER, R., (1992), *Una visión constructivista del aprendizaje y sus implicaciones en la enseñanza de la Ciencia*, Ponencia presentada en el encuentro Investigación y desarrollo del currículum en la enseñanza de las Ciencias, (CIDE: MEC)
- DRIVER, R. y EASELEY, J., (1978), Pupils and the paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students, *Studies in Science Education*, 5, 61-84
- DRIVER, R. y OLDHAM, V., (1986), A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIEEN, A., (1989), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, (Morata/MEC: Madrid)
- DRIVER, R.; NEWTON, P. y OSBORNE, J. (2000) Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *International Journal of Science Education*, pp. 287-312

- DUMAS CARRÉ A, (1987), *La résolution de problèmes en Physique au Lycée*. Tesis Doctoral. Universidad de Paris 7
- DUMAS-CARRÉ, A., GIL, D. y GOFFARD, M. (1990). Les élèves peuvent-ils résoudre des problèmes?, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 728, 1289-1299.
- DUSCHL, R. A., (1994), Research on the History and philosophy of Science, en *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (D.L. Gabel, Ed.) (MacMillan: N. Y.)
- DUSCHL, R.A., (1997), *Renovar la Enseñanza de las Ciencias*, (Narcea: Madrid)
- DUSCHL, R.A. (2000). Making the nature of science explicit. En *Improving science education. The contribution of research*. Millar, Leach y Osborne (edi). Open University Press.
- DUSCHL, R. A. y GITOMER, D.H., (1991), Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858.
- EDWARDS, M., Gil, D., VILCHES, A. y PRAIA, J. (2004) La atención a la situación del mundo en la educación científica *Enseñanza de las Ciencias* 22 (1), 47-64
- EINSTEIN, A. y INFELD, L., (1939). *La Física, aventura del pensamiento* (12º Ed.) Buenos Aires: Losada, 162
- ENGEL, E. y DRIVER, R., (1986), A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts, *Science Education*, 70(4), 473-496.
- FERNÁNDEZ, I., (2000), *Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: una propuesta de transformación*. Tesis doctoral departamento de didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales Universidad de Valencia 9
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA. J., CACHAPUZ, A., PRAIA, J. (2002) Visiones deformadas de la ciencia transmitida por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (3) 477-488
- FERNANDEZ, J. M., (1987); Causas de las dificultades de aplicación del teorema de Arquímedes por los alumnos de EEMM., *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 27-32.
- FERNANDEZ, J.M., TRIGUEROS, T. y GORDO, L., (1988); Ideas sobre los cambios de estado de agregación y las disoluciones en alumnos de 2º curso de B.U.P. *Enseñanza de las Ciencias*. 6(1), 42, 46.
- FILLON, P., (1991), Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves, *Aster*, 12, 91-120
- FLEER, M., (1996) Early learnin about light: mapping preschool children's thinking about light before, during and after involvement in a two week teaching program, *International Journal of Science Education*, 18(7), 819-836
- FREDETTE y LOCHHEAD, (1981), Students conceptions of electric curt. *The Physics Teacher*, 18, 194-198
- FURIO, C., (1983); Ideas sobre los gases en alumnos de 11 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 1, 83-91.
- FURIÓ, C., (1986), Metodología utilizada en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 73-77

FURIÓ, C., (1996), Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7, 7-17

FURIÓ C y GIL D, (1978). El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química. (ICE de la Universidad de Valencia).

FURIÓ, C. CALATAYUD, M. L., HERNÁNDEZ, J., LLOPIS, R., ORTIZ, E. y SOLER, V., (1979). *Química de COU Programa guía de trabajo para la clase activa* ICE Servei de Formació Permanent de la Universitat de Valencia)

FURIO, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, G.; MUJICA, E.; (1993); Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud 'olvidada' en la enseñanza de la Química: la cantidad de sustancia. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 107-114

FURIÓ C, ITURBE J y REYES J. V., (1994), La résolution de problèmes comme recherche, *ASTER*, 19, 87-102.

FURIÓ, C., y VILCHES, A., (1997), Las actitudes del alumno hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad. En *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en la educación secundaria*. Del Carmen, L. Barcelona: Horsori

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. y DOMÍNGUEZ, C., (2000), La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico, 421,449, en Perales y Cañal (eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Marfil: Alcoy)

FURIO, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J.; (2002); Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2),

FURIÓ, C. y CARNICER, J. (2002) El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupo cooperativo. Estudio de casos. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (1), 47-73

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. , Almidí, J.M. y CEBERIO, M., (2003) Learning the Electric Field Concept as Oriented Research Activity, *Science Education*, 87, 640-662

GABEL D.L (ed), (1994), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (McMillan Pub Co: N.Y).

GALILEI, G. (1994, primera edición de 1632). *Dialogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Alianza Editorial. Madrid

GALILI, I., (1996), Students' conceptual change in geometrical optics, *International Journal of Science Education*, 18(7) 847-868

GALILI, I. y HAZAN, A., (2000_a). The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis. *Physics education research suppl.* 1, 68 (3), s3-s15

GALILI, I. y HAZAN, A., (2000_b). Learners' knowledge in optics: interpretation structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22 (1), 57-88.

GARCÍA HOURCADE y RODRÍGUEZ DE AVILA, (1985), Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3) 188-194

GARRETT R, SATTERLY D, GIL D y MARTÍNEZ TORREGROSA J, (1990), Turning exercises into problems: an experimental study with teachers in training, *International Journal of Science Education*, 12 (1), 1-12

GARRITZ, A. e IRAZOQUE, G. (2004). El trabajo práctico integrado con la resolución de problemas y el aprendizaje conceptual en la química de los polímeros *Alambique* 39, 31-39

GENÉ, A., (1986), *Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada*. Tesis Doctoral (Biblioteca de la Facultat de Biologia de la universitat de Barcelona: Barcelona)

GIBSON, H. L. y CHASE, C. (2002), Longitudinal impact o fan inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science *Inc. Science Education*. 693-705 (<http://www.interscience.wiley.com>)

GIL, D., (1982); *La investigación en el aula de Física y Química* (Anaya: Madrid).

GIL, D., (1983), Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1) 26-33

GIL, D., (1986), La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*. 5, 111-121

GIL D, (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77

GIL, D.; (1992); Implicaciones de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en la enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 10(1), 102-104

GIL, D., (1993), Contribución de la Historia y la Filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/ aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2) 197-212

GIL, D. y CARRASCOSA, J., (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236

GIL D. y CARRASCOSA, J., (1990), What to do about science "misconceptions", *Science Education*, 74(5), 531-540

GIL, D.; CARRASCOSA, J.; (1992); Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias* 10(3); 314-327

GIL D. y CARRASCOSA, J., (1994), Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching, *Science Education*, 78(3) 301-315, 3

GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIO, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (1991) *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Ed. Horsori: Barcelona)

GIL, D.; CARRASCOSA, J.; DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C.; GALLEGO, R.; GENÉ, A.; GONZÁLEZ, E.; GUIASOLA, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; PESSOA, A. M.; SALINAS, J.; TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P., (1999_a) ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.

GIL, D., CARRASCOSA, J., y MARTÍNEZ TERRADES, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En Perales, J y Cañal, P. (eds.). *Teoría y Práctica de la enseñanza de las ciencias*. Ed. Marfil. Alcoi

GIL, D., COLOMBO L. y SALINAS, J., (1993), Las representaciones gráficas de un ciclo de investigación: una forma de explicitar las concepciones sobre el trabajo científico... y de contribuir a su transformación, *Enseñanza de las ciencias*, nº extra, 67-68

GIL D, DUMAS-CARRE A, CAILLOT M y MARTINEZ TORREGROSA J, (1990), Paper and pencil problem solving in the physical sciences as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151.

GIL, D.; FURIÓ, C. y GAVIDIA, V., (1998) El profesorado y la reforma educativa en España. *Investigación en la Escuela*, 36, 49-64

GIL, D.; FURIÓ, C.; VALDÉS, P.; SALINAS, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; GUIASOLA, J.; GONZÁLEZ, E. DUMAS-CARRÉ, A.; GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1999_b) ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320

GIL, D. GRIMA, J., MATÍNEZ TORREGROSA, J. SANCHEZ, A. y SEVILLA, C., (1979). *Física de COU: programa-guía de trabajo para una clase activa* ICE Servei de Formació Permanent de la Universitat de Valencia

GIL D y MARTÍNEZ TORREGROSA J, (1983), A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455

GIL D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (1984), Problem-solving in Physics: a critical analysis. *Research on Physics Education* (Editions du CNRS: Paris)

GIL D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (1986), La resolución de problemas como instrumento de cambio metodológico. *Educación Abierta*, 66, 31-60 (Universidad de Zaragoza)

GIL D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (1987_a), *La resolución de problemas de Física* (Vicens Vives/ MEC)

GIL D y MARTÍNEZ TORREGROSA J, (1987_b), Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias, *Investigación en la Escuela*, 3, 3-12

GIL D, MARTINEZ TORREGROSA J y SENENT F, (1988). El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 131-146.

GIL, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y VERDÚ, R., (1989), La introducción de conceptos, modelos y teorías en los textos de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, Nº Extra (tomo I), 203-204.

GIL, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., RAMIREZ, I., DUMAS-CARRÉ, A. GOFARD, M. y PESSOA, A. (1993) Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche: ¿pasamos o nos esperamos? Un ejemplo de tratamiento de situaciones problemáticas abiertas. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 7, 71-80

GIL D y PAYÁ J, (1988) Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (2), 73-79.

GIL D y PESSOA A, (1994) *Formación del profesorado de las ciencias*. (Editorial Popular: Madrid).

GIL, D., GUIASOLA, J., MORENO,A., CACHAPUZ, A., PESSOA, A., MARTÍNEZ TORREGROSA, J.,SALINAS, J. VALDÉS, P. GONZÁLEZ, E., GENÉ,A. DUMÁS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H., Y GALLEGU, R. (2002) Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education* 11, 557-571

- GILBERT, J.K., OSBORNE, R.J. y FENSHMAN, P.J., (1982), Children's Science and its consequences for teaching. *Science Education*, 14(5) 563-578
- GILBERT JK, BOULTER C, RUTHERFORD M (1998). Models in Explanations (Part 1): Horses for Courses? *International Journal of Science Education*, 20(2), pp. 83-97
- GIORDAN, A., (1978), Observation- Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils? *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73 (Traducción española, en *Infancia y Aprendizaje*, 1978, nº 13)
- GIORDAN, A., (1985), Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 3, 11-17
- GLASS, G.V., MCGRAW, B. y SMITH, M. L., (1981). *Meta-Analysis in Social Research*. New York: Academic Press
- GOFFARD M, (1990), Modes de travail pédagogiques et résolution de problèmes en Physique. Tesis Doctoral. Université de Paris.
- GOLDBERG, F. y MCDERMOTT, L., (1986). Student difficulties in understanding image formation by plane mirror. *The Physics Teacher*, 24, 472-480.
- GÓMEZ CRESPO, M. A., (1996), Ideas y dificultades en el aprendizaje de la Química, *Alambique*, 7, 37-44
- GÓMEZ CRESPO, M. A., y POZO, J.I., (2003) Discontinuidad de la materia: más allá de nuestros sentidos. *Educación abierta. Aspectos didácticos de Física y Química (Química)*.11, 157-178; ICE Universidad de Zaragoza: Zaragoza
- GONIDA E., KIOSSEOGLU, G. y PSILLOS, D., (2003), Metacognitive experiences in the domain of Physics: developmental and educational aspects. En PSILLOS et al. (eds.) *Science education research in de knowledge based Society*, 107-115 (Kluwer)
- GONZÁLEZ E, (1994), Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de Física. Tesis de Doctorado. Universitat de València.
- GONZÁLEZ, F. M. y NOVAK J. D., (1993), *Aprendizaje significativo. Técnicas y aplicaciones*. (Cinca: Madrid)
- GRANDA, A., (1988), Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3) 239-243
- GRUENDER, C. D. y TOBIN, K. G., (1991), Promise and Prospect, *Science Education*, 75(1), 1-8
- GRUPO ALKALI, (1990), Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 111-118
- GUISASOLA J. (1996). Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista. Tesis doctoral no publicada. Universidad del País Vasco
- GUISASOLA, J.; FURIO, C.; (1998); Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias* 16 (1); 131-145
- GUISASOLA, J.; y DE LA IGLESIA, R., (1997) "Erien Proyectua": Proyecto de Ciencias para la ESO basado en el planteamiento de situaciones problemáticas. *Alambique*, 13 , 83-93

HAND, B. y PRAIN, V., (2002) Teachers implementing writing-to-learn strategies in junior secondary science: a case study. *Science Education*. 86. 737-755 (www.interscience.wiley.com)

HANSEN, L. y MONK, M (2002); Brain development, structuring of learning and science education: where are we now? *International Journal of Science Education* 24 (4) 343-356

HARLEN, W., (1992), Research and the development of science in the primary school, *International Journal of Science Education*, 14(5) 491-503

HARRÈ, R., (1986), Grandes experimentos científicos: veinte experimentos que han cambiado nuestra visión del mundo. Barcelona: Labor

HASHWEH, M.Z., (1986), Towards an Explanation of Conceptual Change. *European Journal of Science Education* (8), 29-249

HEDGES L. y OLKIN I., (1985); *Statistical Methods for Meta-Analysis* New York Academic Press 299

HELM, H., (1980), Misconceptions in Physics among South African Students. *Physics Education*, 16,15

HENDRY, G.D. y KING, R.C., (1994), On theory of Learning and Knowledge: Educational Implications of Advances in Neuroscience, *Science Education*, /8(3): 223-253

HERNÁNDEZ, J. (1997). Dificultades de aprendizaje sobre la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria. Una propuesta didáctica para superarlas. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.

HEWSON P. W., y THORLEY, N. R. (1989), The conditions of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, nº monográfico, 541-5536

HEWSON, P.W., (1981), A conceptual change approach to learning science. *IJSE*, 8(3), 229-249

HEWSON, P. W., (1990). Enseñanza de "fuerza y movimiento" como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 157-171.

HEWSON, P. W., (1992), El cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores, en *Investigación y desarrollo del currículo en la enseñanza de las Ciencias* (CIDE, MEC)

HIERREZUELO J. y MONTERO, A., (1988) La influencia de las ideas previas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Un ejemplo: la formación del concepto de fuerza en 2º de BUP. *Investigación en la escuela*, 4, 49-57

HIERREZUELO J. y MONTERO, A., (1989) La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y de la Química, Laia: Barcelona.

HIRN, C. y VIENNOT, L., (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: the case of geometrical optics in grade 8 in France. *International Journal of Science Education*, 22 (4), 357-384.

HODSON D, (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

HODSON, D., (1988), Towards a philosophically more valid curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40

- HODSON D, (1992), In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education, *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.
- HODSON D, (1992_b), Assessment of practical work: some considerations in Philosophy of Science, *Science & Education*, 1, 115-144.
- HODSON, D., (1993), Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences, and children's understanding of science: some preliminary findings, *Interchange*, 24(1&2), 41-52
- HODSON, D., (1996), Practical work in school science: exploring son direction for change, *International Journal of Science Education*, 18(7), 755-760
- HOGAN Y MAGLIENTI (2001) Comparing the Epistemological Underpinnings of Students' and Scientists' Reasoning about Conclusions Journal Of Research. In *Science Teaching*, 38 (6), 663-687
- HOLTON, G. y BRUSH, E., (1976), Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias Físicas (Reverté: Barcelona)
- HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. J. y WATSON, F. G., (1982). *Project Physics*. New York: Holt-Rinehart-Winston. 128
- HOLTON, G., (2001), *Ciencia y anticiencia* Nivola: Madrid
- IIZUKA K., (1983). *Engineering Optics*. (Berlin: Board , Springer series).
- IZQUIERDO, M., (2000), Fundamentos epistemológicos, en Cañal y Perales (eds), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp 35-64, (Marfil: Alcoy) 82
- IZQUIERDO, M., y SANMARTI, N., (2003). El lenguaje y la experimentación en las clases de Química. *Educación abierta. Aspectos didácticos de Física y Química (Química)*.11, 41-88; ICE Universidad de Zaragoza: Zaragoza
- JAMES y SMITH, (1985), Alienation of students from science in grades 4-12, *Science Education*, 69, 39-45
- JIMENEZ ALEIXANDRE, M. P., (1987), Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 165-167
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P, (1989), Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P., (1998), Diseño Curricular: Indagación y Razonamiento con el Lenguaje de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2) 203-216
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE (2000), Modelos didácticos, 165-186 en Perales y Cañal (eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Marfil: Alcoy)
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M^a P., (2001), Discurso y argumentación en la clase de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VI Congreso, p. 61 y sigs
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M^a P (2003) Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias, 55-71 en JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M^a P. (coord.) et al., (2003), *Enseñar ciencias* Barcelona: Graó

- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M^a P., BUGALLO, A. y DUSCHL, R., (2000), "Doing the lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics, *Science Education*, 757-792
- JORBA, J. Y SANMARTÍ, N. (1995) Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos, *Alambique*, 4, 59-77
- JOSUHA y DUPIN (1993), Introduction a la didactique des sciences et des mathématiques. (PUF: Paris)
- JUSTI, R. y GILBERT, J., (2000) History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 993-1009; 84
- KAMINSKI, W. y VIENNOT, L. (1989), Optique élémentaire. Taller desarrollado en el III Congreso Internacional sobre la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, tomo 2, 230
- KEMPA , R.F. y AYOB, A., (1995), Learning from group work in science, *International Journal of Science Education*, 17, (6), 743-754, 6
- KEPLER, J. (1980). Les fondements de l'optique moderne. Paralipomènes a Vitellion (1604). (Paris: Vrin).
- KITTLESON, J. M. y SOUTHERLAND, S. A. (2004) The role of discourse in group knowledge construction: a case study of engineering students *Journal of Research in Science Teaching* vol. 41, (3), 267-293
- KOCH, A. (2001) Training in metacognition and comprehension of physics texts *Science Education* 85, 758-768
- KOLIOPOULOS, D. y ROVANIS, K., (1998) L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants. Grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster* 26, 165-182 . 104
- KOYRÉ, A., (1979). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Siglo XXI
- KOYRÉ A., (1980). *Estudios galileanos*. Madrid: Siglo XXI; , 126, 128
- KUHN, TH. S., (1971), *La estructura de las revoluciones científicas* (Fonde de cultura Económica: México)
- KUHN, D., (1993) Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking *Science Education* 77 (3), 319-337
- LAUDAN, L., (1984), *Science and values: An essay on the aims of science and their role in scientific debate*. Berkeley: Universidad de California Press. (citado por Duschl, 1994)
- LAZAROWITZ R y TAMIR P, (1994), Research on using laboratory instruction in science. En Gabel D.L (ed), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (MacMillan Pub Co: N.Y).
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C., (1995), Children's ideas about ecology 1: theoretical background, design and methodology, *International Journal of Science Education*, 17(6), 721-732
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C., (1996_a), Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter, *International Journal of Science Education*, 18(1), 19-34

- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C., (1996_b), Children's ideas about ecology 3: ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organisms, *International Journal of Science Education*, 18(2), 129-1411
- LEACH, J. y SCOTT Ph, (2000), Children's thinking, learning and constructivism, en Monk y Osborne (eds), *Good Practice in Science Teaching*, pp 41-56, (Open U. Press: Buckingham)
- LEMKE, J. L., (1997). Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores. Paidós: Barcelona
- LEMKE, J. L., (2001), Articulating Communities: Socio-cultural Perspectives on Science Education, *Jour. of Research in Sc. Teaching*, 38(3)296-316
- 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
- LLORENS, J. A., (1987). Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia. Departamento: Química-Física
- LLORENS, J. A., (1988_a); La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje, *Investigación en la escuela*, nº 4, pp. 33-49., 170
- LLORENS, J. A.; (1988_b); Aprendizaje de la química y empleo del lenguaje. *Enseñanza de las ciencias* 6 (2), 195-197
- LLORENS J, A, DE JAIME M^a C y LLOPIS R, (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 111-119. 31
- LLORENS, J. A.; (1991); Comenzano a aprender química. Ideas para el desarrollo curricular. Madrid: Visor
- LOCKE, D., (1997), *La ciencia como escritura*. Ediciones Cátedra: Madrid.
- Longbottom, J. E. y Butler, Ph. H., (1999), Why Teach Science? Setting Rational Goals for Science Education, *Science Education*, 473-491
- LOPEZ-GAY, R. (2002). La introducción y utilización del concepto de diferencial en la enseñanza de la Física: análisis de la situación actual y propuesta para su mejora. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Madrid.
- LÓPEZ-GAY, R., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y GRAS A. (2002) Análisis de la utilización y comprensión del cálculo diferencial en la enseñanza de la Física en *Educación Abierta Aspectos Didácticos de Física y Química (Física)* 10, 113-157 Universidad de Zaragoza.
- LÓPEZ-GAY, R., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. GRAS A. y TORREGROSA, R., (2003) *Enseñanza de las Ciencias*
- MACEDO B y SOUSSAN G, (1985). Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 83-91
- MALONEY D. (1994) Research on problem solving: physics. En Gabel D. (ed.), 1994, *Handbook of Research in Science Teaching and Learning* (MacMillan Publishing Company: N.Y.) 74

MARTÍNEZ SEBASTIÁ, B. (2003), La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para los futuros profesores de primaria. Universidad de Valencia

MARTÍNEZ TORREGROSA J, (1987). La resolución de problemas de Física como investigación: un instrumento de cambio metodológico. Tesis doctoral. Facultad de Físicas. Universidad de Valencia.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., VERDÚ, R., ALONSO, M., CARBONELL, F. CARRASCOSA, J. DOMENECH, J. L., DOMENECH, A., OSUNA, L., SENDRA, F., (1991). *La búsqueda de la Unidad en la Naturaleza. Ciencias de la Naturaleza. 2º curso Enseñanza Secundaria Obligatoria*. Libro del profesor y el alumno. Valencia: Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura, Educación y Ciencia.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., VERDÚ, R., ALONSO, M., CARBONELL, F. CARRASCOSA, J. DOMENECH, J. L., DOMENECH, A., OSUNA, L., SENDRA, F., (1993). *La búsqueda de la Unidad en la Naturaleza. Ciencias de la Naturaleza. 2º curso Enseñanza Secundaria Obligatoria*. Libro del profesor y el alumno. Ed. Aguaclara Alicante

MARTÍNEZ. TORREGROSA, J. y VERDÚ, R., (1993) ¿Cómo organizar la enseñanza para un mejor aprendizaje? La estructura de los cursos y los temas en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las ciencias* nº extra, 97-98

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., DOMÉNECH, J. L. y VERDÚ, R., (1993), Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza en las Ciencias/ Física y Química, *Curriculum*, nº 6 & 7, (extra sobre enseñanza de las Ciencias), 67-89

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., CLIMENT, D. y VERDÚ, R., (1994), Investigando/ comprendiendo la naturaleza, 12/16. *Alambique*, 1, 105-112

MARTÍNEZ TORREGROSA, J. VERDÚ et al., (1995). *La búsqueda de la unidad. (El movimiento de todas las cosas)*. Física 15/16 Libro del profesor y libro del alumno. Alicante: Aguaclara

MARTINEZ-TORREGROSA J, VERDÚ, R., et al, (1997), *Ciencias de la Naturaleza 2º ESO (Proyecto Investigar/ Comprender la Naturaleza)* (Aguaclara: Alicante)

MARTÍNEZ. TORREGROSA, J. y VERDÚ, R., (1997) La construcción de grandes síntesis como criterio para organizar y secuenciar los cursos: el caso de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias* nº extra, 479-480

MARTÍNEZ. TORREGROSA, J., VERDÚ, R., et AL., (1998). *La búsqueda de la unidad La estructura de todas las cosas*. Aguaclara: Alicante.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; GIL, D. y VERDÚ, R. (1999) La evaluación en una enseñanza de la Física como construcción de conocimientos. En *Educación Abierta, 140 Aspectos didácticos de Física y Química (Física)*. 8. Zaragoza: ICE U. de Zaragoza.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; OSUNA, L. Y VERDÚ, R. (1999) La luz y la visión en la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educación Abierta. Aspectos didácticos de Física y Química, nº 8*, 69-101. Zaragoza: ICE U. Zaragoza

MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; VERDÚ, R. ALONSO, M.; CARBONELL, F.; CARRASCOSA, J.; DOMÉNECH, J. L.; DOMÉNECH, A.; DOMÍNGUEZ, A.; OSUNA, L. (1999) *Física y Química de 4º de ESO. ("El movimiento de todas las cosas")* (Proyecto Investigar/ Comprender la Naturaleza) (Aguaclara: Alicante)

MARTÍNEZ TORREGROSA, (2001) Proyecto docente Asignatura "Ciencias de la Naturaleza y su didáctica" Universidad de Alicante

- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y OSUNA, L., (2001), Planificación de una unidad didáctica sobre "La luz y la visión", *Enseñanza de las Ciencias*, Núm. Extra VI Congreso
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. LÓPEZ-GAY, R. GRAS, A. y TORREGROSA GIRONÉS, G. (2002_a). La diferencial no es un incremento infinitesimal. Evolución del concepto de diferencial y su clarificación en la enseñanza de la física. *Enseñanza de las ciencias* 20 (2) 271-283
- MARTÍNEZ TORREGROSA et Al, (2002_b), ¿Actividades de ciencias para niños?, Diseño, puesta en práctica y evaluación de una secuencia problematizada de actividades sobre "el aire y sus propiedades" para niños de 5 a 7 años *Alambique* 32, 80-91
- MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GIL D., Y MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B., (2003) La Universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje como investigación orientada, en MONEREO, C. y POZO, J. I. (eds.) *La Universidad ante la nueva cultura educativa* (Síntesis: Madrid)
- MASON, S. (1985), *Historia de las Ciencias, Vol I* (Alianza Editorial: Madrid)
- MASON, S., (1986), *Historia de las Ciencias, Vol II, III, IV, V* (Alianza Editorial: Madrid)
- MATTHEWS, M. R., (1994_a), Science Teaching. The role of History and Philosophy of Science (Routledge: London) 128, 138
- MAURINES, L.; (1992); Los estudiantes y la propagación de las señales mecánicas: dificultades de una situación de variables y procedimientos de simplificación. *Enseñanza de las Ciencias* 10 (1); 49-57
- MAURINES, L. (2003) Mechanistic reasoning on the concept of wave surface, and on the Huygens' principle *Science Education Research* 127-135
- MAY, D. B. y ETKINA, E. (2002) College physics students' epistemological self-reflection and its relationship to conceptual learning *American Journal Physics* 70 (12) 1249-1258
- MCDERMOTT, L. C. (1984_a), Critical review of research in the domain of mechanics. Research on Physics Education Editions du CNRS Paris
- MCDERMOTT, L. C. (1984_b), Alternative frameworks: interpretation of evidence, *European Journal of Science Education* (6) 1-6
- MCDERMOTT, L. C. ROSENQUIST, M. L. y van ZEE E. H., (1987), Student difficulties in commenting graphs and Physics': examples from kinematics *American Journal Physics*, 55(6), 503-513
- MEICHSTRY Y., (1993), The impact of science curricula on students' views about the nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (5), 429-443.
- METZ, K., (1998), Scientific Inquiry Within Reach of Young Children, en Fraser y Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education*, pp 81-95
- MEYLING, H. (1997), How to change students' conceptions of the epistemology of science. *Science & Education*, 6, pp. 397-416
- MIKROPOULOS, T. A. (2003) Brain Research in Science Education Research en D. Psillos et al. (eds) *Science Education Research in the Knowledge-Based Society* 353-360 (Kluwer Academic P)
- MILLAR, R. y DRIVER, R., (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

MILLAR, R., (1989), Constructive criticisms, *International Journal of Science Education*, 11, 587-596

MILLAR, R., (2003) What can we reasonably expect of research in science education? En D. Psillos et al. (eds.) *Science Education*

MONK M. y OSBORNE J., (1997), Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 8(14), 405.

MORENO M, (1986). Ciencia y construcción del pensamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 57-64.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, NRC, (2001). *Scientific Inquiry in Education*. Washington DC: National Academy Press.

NATIONAL SCIENCE EDUCATION STANDARDS, NSES, (1996), *National Committee on Science Education Standards and Assessment* National Research Council, (National Academy Press: Washington D.C.)

NEWTON, P., DRIVER, R. OSBORNE, J. (1999), The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21 (5) 553-576

NOLEN, S. B., (2003), Learning environment, motivation, and in achievement High School Science. *Journal Research. Science Teaching* 40, 347-368

NOVAK J, D, (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223. 10

NOVAK, J. D. (2002), Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners *Science Education*

NOVICK, S. y NUSSBAUM, J., (1978); Junior High School Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter. An interview study. *Science Education*. vol 62 (3), pp. 273-281, 170

NOVICK, S. y NUSSBAUM, J., (1981); Pupils understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study, *Science Education*, vol. 65, 187-196. [170]

NUÑEZ, F. y BANET, E., (1996), Modelos conceptuales sobre las relaciones entre digestión, respiración y circulación, *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 261-278

NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 530-540.

OGBORN, J., KRESS, G., MARTINS, I., MCGILLICUDDY, K. (1996), Science Education and semiotics: collaborative work on explanation, imagery and rhetoric. *Proceedings of the 3rd European Summer School*. (ESERA).

OGBORN, J., KRESS, G., MARTINS, I., MCGILLICUDDY, K. (1998). *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en Secundaria*. Aula XXI Santillana: Madrid.

OLIVA, J. M., (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones del cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1); 93-107

OÑORBE A., (1993), Análisis de dificultades en la enseñanza-aprendizaje de resoluciones de problemas de Física y Química. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares.

- OÑORBE A., (2003), Resolución de problemas, 73-93, en JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M^a P. (coord.) et al., (2003), *Enseñar ciencias* Barcelona: Graó
- OSBORNE, J.F., (1996), Beyond Constructivism, *Science Education*, 80(1): 53-82
- OSBORNE R y WITTROCK M, (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, 490-508.
- OSBORNE, R., y WITTROCK, M. (1985) The generative learning model and its implications for science education, *Studies in Science Education*, 12, 59-87.
- OSBORNE, J.F., BLACK, P., MEADOWS, J. y SMITH, M, (1993), Young children's (7-11) ideas about light and their development, *International Journal of Science Education*, 15(1), 83-93
- OSBORNE, J; SIMONS, S. y COLLINS, S, (2003) Attitudes towards science: a review of the literature and its implications *International Journal of Science Education*, 25(9) 1049-1079
- OSUNA L. (2001), La planificación de una estructura problematizada para la enseñanza de la "luz y la visión" en la ESO. Análisis de la relevancia de los objetivos propuestos y de los obstáculos previsibles. Trabajo de investigación de Tercer Ciclo. Universidad de Valencia,
- OSUNA, L., (2004). La planificación de una estructura problematizada para la enseñanza de la "luz y la visión" en la ESO. Análisis de la relevancia de los objetivos propuestos y de los obstáculos previsibles. (Trabajo en desarrollo).
- OSUNA L., TRIVES, M., MOLINA, J. DE LA ROSA, C. y SOGORB, A. (1998) *Astronomía ESO*. (Aguaclara: Alicante)
- OTERO, J. (1985). Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7 (4), 361-369.
- PATTERSON, E. W., (2001) Structuring the composition process in scientific writing. *Internacional journal Science Education*, 23 (1), 1-16
- PAYÁ J, (1991), Los trabajos prácticos en Física y Química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- PEDRINACI, E., (1996), Sobre la persistencia o no de las ideas de los alumnos en geología *Alambique*, 7, 27-36
- PERALES, F. J.; (1997); Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias* 15(2); 233-248
- PERALES, F. J. (2000) La resolución de problemas. En F. J. Perales y P. Cañal (Eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 289-306. Editorial Marfil: Alcoy.
- PERALES, F. J.; NIEVAS, F.; (1988); Nociones de los alumnos sobre conceptos de óptica geométrica. *Enseñanza de las Ciencias* 6(1); 86-88
- PETERS, P. C. (1982). Even horror's students have conceptual difficulties with physics. *American Journal of Physics*, 50(6):501-508.
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (1994) *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Institute for Science Education. University of Kiel.
- PFUNDT, H. y DUIT, R., (1998): *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Institute for Science Education. University of Kiel.

PFUNDT, H. y DUIT, R. (2004) Bibliography- Students' alternative Frameworks and Science Education Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften: Kiel-Alemania. <http://www.uni-kiel.de/aktuell/stcse/bibint.html>

PFUNDT, H., (1981): *Pre-instructional Conceptions About Substances and Transformations of Substances*. (International workshop: Problems concerning student's representation of Physics and Chemistry Knowledge. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg).

PIAGET J, (1969). *Psicología y Pedagogía*. (Ariel: Barcelona).

PIAGET J, (1971). *Psicología y Epistemología*. (Ariel: Barcelona)

POPPER, K. R. (1962) *La lógica de la investigación científica* Tecnos (primera edición de 1934),

POSADA, J.M. de (1999) Concepciones de los alumnos sobre enlace químico: antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje *Enseñanza de las ciencias* 17 (2), 227-

POSNER G.J, STRIKE, HEWSON y GERTZOG, (1982). Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

POZO, J. I., SANZ, A., GÓMEZ CRESPO, M. A. y LIMÓN, M., (1991), Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 83-94

POZO, J. I. (1999), Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 513-520

PRAIN, V., HAND, B., y YORE, L. (2003) Learning from writing in secondary science: a case study of students' comparing strategies En *Science Education Research in the Knowledge-Base Society*, 163-171

PRIETO, T. y BLANCO, A. (2000) Visión escolar de la naturaleza y estructura de la materia *Alambique* 26, 75-82

PRIETO, T. y BLANCO, A. y GONZÁLEZ, F., (2000) La materia y los materiales. Madrid: Síntesis

RAMÍREZ L, (1990). La resolución de problemas de Física y Química como investigación en la enseñanza media, un instrumento de cambio metodológico. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Barcelona.

RAMIREZ, L., GIL, D. y MARTÍNEZ. TORREGROSA, J., (1994), *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación*, (CIDE. MEC)

RESNICK L, B, (1983), Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478

REYES. J. V, (1991), La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.

RIOJA, A. y ORDÓÑEZ, J. (1999) *Teorías del universo Vol I y II* (Editorial Síntesis: Madrid), 128

RIVAS, M, 1986. Factores de eficacia escolar: una línea de investigación didáctica. *Bordón*, 264, 693-708.

- RODRÍGUEZ, L. M. y ESCUDERO, T., (2000), Interacción entre iguales y aprendizaje de conceptos científicos, *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2) 255-274.
- SALINAS J, (1994), *Las prácticas de Física Básica en laboratorios universitarios*. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- SALINAS J, (2004), El papel de la experimentación en la enseñanza de la Física. *Alambique* 39, 31-39
- SALINAS J y COLOMBO DE CUDMANI L, (1992), Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida, *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 10-17
- SANMARTÍ, N, (1990). Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y de compuesto. Tesis Doctoral. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona., 12
- SANMARTÍ, N. (2002) Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria Madrid: Síntesis Educación
- SANMARTÍ, N. GARCÍA P. e IZQUIERDO M. (2002) Aprender ciencias aprendiendo a escribir ciencias en *Apuntes didácticos de Ciencias naturales (Biología) 8*, 141-174 *Colección Educación Abierta nº 160* ICE Universidad de Zaragoza: Zaragoza
- SARDÀ, J. y SANMARTÍ, N., (2000), Ensenyar a argumentar científicament: un repte de les classes de ciències, *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3) 405-422
- SAULEDA, N. y MARTÍNEZ, M. A., (1994), Evolución y simbiosis de las propensiones esenciales en el escenario de la enseñanza de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 246-254
- SAXENA, A.B., (1991). The understanding of properties of light by students in India. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 283-289.
- SCHAVERIEN, L. y COSGROVE, M., (1999), A biological basis for generative learning in technology-and-science Part I: A theory of learning, *International Journal of Science Education*, 21 (12) 1223-1235.
- SCHAVERIEN, L. y COSGROVE, M., (2000), A biological basis for generative learning in technology-and-science Part II: Implications for technology-and-science education, *International Journal of Science Education*, 22 (1) 13-35.
- SCHIBECCHI R. A., (1984). Attitudes to science: an update. *Studies in Science Education*, 11, 26-9
- SEBASTIÁ, J. M., (1984), Fuerza y movimiento la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias* (2) 161-169
- SELLEY, N.J., (1996_a), Towards a phenomenography of light and vision, *International Journal of Science Education*, 18(7), 837-846
- SELLEY, N.J., (1996_b). Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18 (6), 713-723.
- SERE, M. G., (1986); Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413-425.
- SERRANO, 1988, Actitudes de los alumnos y aprendizaje de las ciencias. Un estudio longitudinal. *Investigación en la Escuela*, 5, 29-38

SHARP, J.G., (1996), Children's astronomical beliefs: a preliminary study of Year 6 children in south-west England, *International Journal of Science Education*, 18(6), 685-712

SHUELL, T.J., (1987), Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*, 71(2), 239-250

SHYMANKY, J. A. et al., (1993). A study of changes in middle school teachers' understanding of selected ideas in science as function of an in-service program focusing on student preconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 737-755

SOLBES J, (1986). *La introducción de los conceptos básicos de física moderna*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad de Valencia.

SOLBES J, (2002) Les empremtes de la ciència. Ciència, tecnologia, societat: unes relacions controvertides. Alcira: Germania

SOLBES, J. y VILCHES, A., (1989). Interacciones CTS: un instrumento de cambio actitudinal, *Enseñanza de la Ciencias*, 7(1), pp. 14-20

SOLBES, J. y VILCHES, A., (1997), STS Interaction and the teaching of Physics and Chemistry *Science Education*. 81, 377-386

SOLOMON J, (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.

SOLOMON J, (1991), Teaching about the nature of science in the British National Curriculum, *Science Education*, 75 (1), 95- 103.

SOLOMON, J., DUVEEN, J. & SCOTT, L., (1993). Pupil' understanding of science: description of experiments or "A passion to explain"? *School Science Review*, 75(271), 19-27.

STAVI, R., (1990); Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas, *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266. 170

STINNER, A. (1995) Contextual settings, science stories, and large context problems: toward a more humanistic science education. *Science Education* 79 (5), 555-581

TIBERGHIEN, A. (1994). Modelling as the basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4:71-87.

TOULMIN S, (1977). 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, 242-253

VALDÉS P., VALDÉS, R., GUIASOLA, J. y SANTOS, T. (2002) Implicaciones de las relaciones ciencia-tecnología en la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28. 101-128 <http://www.campus.oei.org/revista/rie28a04.pdf>

VALDÉS, P. GIL, D., VILCHES, A., y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., (2004) ¿Qué entendemos por constructivismo en didáctica de las ciencias?, 398-413, en *Didáctica de las Ciencias. Nuevas perspectivas* Colectivoo de Autores IPLAC. Ed. Pueblo y Educación: La Habana Cuba

- VARELA P, et al, (1989), Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 292-295.
- VARELA, P., (1994), La resolución e problemas en la enseñanza de la ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid
- VARELA, P.y MARTINEZ, M. M.; (1997); Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la Física: la resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 15(2); 173-188
- VERDÚ, R., (1990). La estructura de los temas y la introducción de conceptos y modelos en la Enseñanza de la Física. Análisis de los textos habituales. (Tesis de Master). Universitat de Valencia, Valencia
- VERDÚ, R.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y GIL, D., (2001), La estructura de los temas como problemas: primeros resultados, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, VI Congreso, 227-228.
- VERDÚ, R.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002) Enseñar y aprender en una estructura problematizada, *Alambique*, nº 34, 47-55
- VIENNOT L, (1976). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: París).
- VIENNOT L, (2002); *Enseigner la Physique* Ediciones e Boeck: Bruselles
- VIENNOT, L. (2003), Relating research in didactics and actual teaching practice : impact and virtues of critical details en PSILLOS, D. et al (Eds.) (2003): *Science Education Research in the Knowledge-Based Society*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Kluwer Academic Publishers The Netherlands <http://www.wkap.nl/prod/b/1-4020-1412-0>
- VIENNOT, L. y CHAUVET, F., (1997). Two dimensions to characterize research-based teaching strategies: examples in elementary optics. *International Journal of Science Education*, 19 (10), 1159-1168.
- VIGOTSKY, L. S. (1973). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. Psicología y Pedagogía (Akal: Madrid).
- WANDERSEE J.H, MINTZES J.J y NOVAK J.D, (1994), Research on alternative conceptions in science, 177-210. En Gabel D.L (ed), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* A project of the National Science Teachers Association (MacMillan Pub Co: New York).
- WELTI, R., (2002) Concepciones de los estudiantes y profesores acerca de la enseñanza de las ondas *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (), 261-270
- WHITE T, R., y GUNSTONE F, R, (1989). Meta-learning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586.
- WONG, D., y PUGH, K., (2001), *Learning Science: A Dewey and Perspective*, Journal. of Research in Science Teaching, 38(3) 317-336.
- YAGER R, E y PENICK J, E, (1986). Perception of four groups towards science classes, teachers and value of science. *Science Education*, 70 (4), 335-363.
- YORE; L.D. HAND; B.; PRAIN, V., (2002) Scientists as writers *Inc. Science Education*, 672-692 (<http://www.interscience.wiley.com>)

ZOLLER, U., (1999), Scaling-Up of Higher-Order Cognitive Skills-Oriented College Chemistry Teaching: An Action-Oriented Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (5), 583-596.

ANEXO I:

A.-Ejemplos de transformación de títulos enunciativos en títulos interrogativos

Las tablas siguientes recogen ejemplos de las *preguntas y/o problemas estructurantes* que constituyen el inicio de algunos bloques y temas (y que sustituyen a los títulos enunciativos)

TÍTULOS DE GRANDES SÍNTESIS Y SECUENCIA DE SUBPROBLEMAS

TÍTULO HABITUAL	TÍTULO COMO PROBLEMA	SECUENCIA DE TEMAS/ PROBLEMAS
LAS ESTACIONES DEL AÑO. LOS MOVIMIENTOS DE LA TIERRA. EL SISTEMA SOLAR	<i>¿CÓMO DEBEN MOVERSE LA TIERRA Y/O EL SOL PARA QUE SE PRODUZCAN LOS CAMBIOS EN EL MOVIMIENTO DEL SOL QUE PODEMOS OBSERVAR (DESDE NUESTRA LOCALIDAD O EN CUALQUIER PUNTO DE LA TIERRA)?</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Existen regularidades, ciclos, en el movimiento del Sol? 2. ¿Cómo deben moverse el Sol y/o la Tierra para que ocurran los ciclos que observamos?

TÍTULO HABITUAL	TÍTULO COMO PROBLEMA	SECUENCIA DE TEMAS/ PROBLEMAS
MECÁNICA (Cinemática, Dinámica, Gravitación)	<i>¿QUÉ ES LO QUE HACE QUE LOS OBJETOS SE MUEVAN COMO LO HACEN?</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo caracterizar y diferenciar un movimiento de otros? (independientemente del objeto que se mueve) 2. ¿Qué es lo que hace que el movimiento de un objeto sea de un tipo u otro? ¿cómo podemos conseguir que un objeto se mueva como deseamos?, ¿que una piedra se mueva como la Luna?

TÍTULO HABITUAL	TÍTULO COMO PROBLEMA	SECUENCIA DE TEMAS/ PROBLEMAS
ENERGÍA, TRABAJO, CALOR, CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA, 2º PRINCIPIO	<i>¿EXISTEN LIMITACIONES EN LOS CAMBIOS QUE OCURREN EN LA NATURALEZA? QUE NOS PERMITAN RELACIONARLOS, PREDECIRLOS?</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Existen restricciones, límites, en la cuantía de los cambios mecánicos que ocurren? 2. Cuando la energía mecánica se crea o desaparece siempre ocurren cambios no mecánicos, ¿existen relaciones entre los cambios mecánicos y no mecánicos? 3. ¿Por qué se paran las transformaciones en los sistemas? ¿por qué no ocurren cadenas de cambios que energéticamente podrían ocurrir? <i>¿qué hace falta para que una cadena recambios continúe funcionando? (“FUENTES DE ENERGÍA”)</i>

TÍTULOS HABITUALES	TÍTULO COMO PROBLEMA	SECUENCIA DE TEMAS/ PROBLEMAS
<ul style="list-style-type: none"> - VOLUMEN, MASA, DENSIDAD - MODELO CORPUSCULAR - ELECTROSTÁTICA - ESTRUCTURA DE LAS SUSTANCIAS - REACCIONES QUÍMICAS - ESTRUCTURA DEL ÁTOMO 	<p><i>¿CÓMO ESTÁN FORMADAS LAS COSAS “POR DENTRO”? ¿SON TOTALMENTE DISTINTAS O TIENEN ALGO EN COMÚN?</i></p> <p><i>¿A QUÉ SE DEBE LA DIVERSIDAD DE SUSTANCIAS? ¿CÓMO ES POSIBLE QUE DESAPAREZCAN SUSTANCIAS Y APAREZCAN OTRAS DISTINTAS?</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las cosas son muy distintas, pero ¿existen propiedades comunes a todas ellas? 2. Si tienen propiedades comunes, ¿existe una estructura común a todas las cosas? (Estructura Corpuscular) 3. ¿Qué es lo que hace que haya gases, líquidos y sólidos? (otra propiedad general: la carga eléctrica) 4. Si hay propiedades y una estructura comunes, ¿por qué hay sustancias tan diversas? ¿cómo pueden desaparecer unas sustancias y aparecer otras distintas? (ESTRUCTURA ATÓMICO /MOLECULAR; MODELO DE REACCIÓN) 5. ¿Cómo son los átomos por dentro? ¿si sólo hay tres partículas distintas, por qué hay tantos elementos distintos? (ESTRUCTURA DEL ÁTOMO, SISTEMA PERIÓDICO)

TÍTULOS DE TEMAS

TÍTULO HABITUAL	TÍTULO COMO PROBLEMA
<ul style="list-style-type: none"> • REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DELALUZ. ÓPTICA GEOMÉTRICA • LA FORMACIÓN DEL RELIEVE TERRESTRE • METABOLISMO CELULAR • RELACIONES TRÓFICAS EN LOS ECOSISTEMAS 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>¿CÓMO VEMOS? ¿CÓMO PODEMOS VER MEJOR?</i> • <i>¿HAN ESTADO LAS MONTAÑAS, VALLES, MARES, RÍOS SIEMPRE IGUAL? ¿SUFIRIRÁN CAMBIOS?</i> • <i>¿QUÉ NECESITA EL SER VIVOMÁS PEQUEÑO PARA VIVIR? ¿CÓMO CONSIGUE LO QUE NECESITA?</i> • <i>¿PODRÁ CRECERUA ESPECIE INDEFINIDAMENTE?</i>

B. Ejemplos de planificación de los temas y cursos

En todos los temas el desarrollo de este proceso exige que el grupo de profesores/investigadores adquiera un conocimiento profundo, problematizado, de la materia a enseñar (Martínez, Torregrosa, et al., 2002_a), de la investigación didáctica realizada hasta el momento sobre el tema específico y de la propia experiencia docente reflexionada, hasta establecer el posible itinerario enseñanza/aprendizaje. De un modo esquemático presentaremos las preguntas que guían el proceso de toma de decisiones (Verdú, Martínez Torregrosa y Osuna, 2002), posteriormente presentaremos las respuestas para los temas comentados en el capítulo 3.

Preguntas que guían la toma de decisiones

PREGUNTAS QUE GUÍAN EL ESTUDIO HISTÓRICO/ CIENTÍFICO/ DIDÁCTICO

- ¿Qué nos gustaría conseguir que supieran los alumnos sobre este tema?
- ¿Qué problemas están en el origen de los conocimientos que queremos que aprendan los alumnos?
- ¿Cuál o cuáles serían más adecuados para iniciar el proceso de investigación?

PREGUNTAS SOBRE METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS PREVISIBLES PARA ALCANZARLAS

- ¿Qué ideas o conocimientos suponen/supusieron avances, grandes pasos necesarios, para solucionar el problema, para alcanzar el objetivo clave (metas parciales y pasos necesarios)
- ¿Cuáles son/fueron los obstáculos más importantes para conseguir dichas ideas?
- ¿Qué ideas y razonamientos pueden tener los alumnos sobre los aspectos anteriores que supongan obstáculos para el aprendizaje y que, por tanto, deben ser tomados en consideración? ¿qué otros aspectos necesitan saber y saber hacer para que el avance sea posible? (Obstáculos asociados. Se debe hacer una investigación empírica para confirmarlos)

PREGUNTAS SOBRE ESTRATEGÍA O ÍNDICE A SEGUIR Y CÓMO FAVORECER LA REVISIÓN DE LO AVANZADO AL DESARROLLARLA

- ¿Qué estrategia (que se convertirá en el “hilo conductor” o en el índice del tema) conviene proponer para avanzar en la solución a los problemas iniciales?
- ¿Cómo favorecer que los alumnos estén orientados? ¿Cuándo realizar recapitulaciones, cuándo evaluar la marcha de la empresa científica?

PREGUNTAS SOBRE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES CONCRETAS Y EL SISTEMA DE EVALUACIÓN (la “estructura fina”, considerada como hipótesis)

- ¿Qué plan concreto de investigación -programa-guía- proponer a los alumnos para desarrollar la estrategia?
- ¿Cómo favorecer la implicación y el clima del aula adecuado?
- ¿Cómo planificar la evaluación para que oriente e impulse la buena marcha de la investigación?
- ¿Qué y cómo obtener información para replanificar la estructura (“gruesa” y “fina”)

Metas Orientadoras, Problemas Y Objetivos Claves

Ejemplo 1: La planificación del tema “Las estaciones del año y el movimiento del Sol y la Tierra” con una estructura problematizada.

Tabla 1.1. META ORIENTADORA Y PROBLEMAS ESTRUCTURANTES DEL TEMA “LAS ESTACIONES DEL AÑO. EL SISTEMA SOL/ TIERRA”

META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)	
<p>Que comprendan y puedan utilizar funcionalmente un modelo del Sistema Sol/Tierra que les permita explicar las regularidades observables en el movimiento del Sol y realizar predicciones sobre cómo se moverá el Sol en su localidad y en otros puntos de la Tierra</p>	
PROBLEMA ESTRUCTURANTE	SUBPROBLEMAS ESTRUCTURANTES
<p>¿Cómo deben moverse el Sol y/o la Tierra para que se produzcan los cambios en el movimiento del Sol que podemos observar desde nuestra localidad o en cualquier punto de la Tierra?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Existen regularidades, ciclos, en el movimiento del Sol? • ¿Cómo deben moverse el Sol y la Tierra para que ocurran los ciclos que observamos?

Tabla 1.2 METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS

METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS
<p>1. Ser conscientes del interés práctico de conocer con precisión el movimiento de los astros y de la influencia que ha tenido la evolución del pensamiento científico sobre el modelo Sol/ Tierra en el pensamiento y cultura occidentales</p> <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Una visión descontextualizada y lineal de la ciencia - La imagen transmitida por los textos, medios de comunicación, ..., hace que parezca “evidente” cómo es el sistema Solar
<p>2. Conocer con precisión (suficiente para realizar predicciones aproximadas y, para orientarse espacial y temporalmente con el Sol en su localidad) los ciclos y simetrías en el movimiento del Sol</p> <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ideas espontáneas (de origen social y escolar) sobre aspectos observables del movimiento del Sol. Por ejemplo: creer que el Sol sale/ se pone siempre por el Este/ Oeste; que el Sol llega a estar sobre nuestra cabeza en verano (en Alicante); asignar carácter extremo al verano e invierno e intermedio a primavera y otoño (influidos por aspectos climatológicos). A lo largo del desarrollo de las clases hemos detectado una idea espontánea no citada en la literatura didáctica: identificación de la elevación del Sol sobre el horizonte con la distancia Sol-Tierra (alrededor de un 30 % de los alumnos de Magisterio).

- Aprendizaje repetitivo anterior de definiciones estereotipadas, sin referente práctico alguno. Por ejemplo: puntos cardinales, meridiano (línea N/S o meridiana), paralelo, Ecuador,...
- Estereotipos sobre cómo es el movimiento del Sol en otras latitudes (confusión entre lo que ocurre en los polos y en los círculos polares; los días tienen que ser más cortos cuanto más al Norte; en el Ecuador el Sol siempre está en la vertical;..).
- Inexperiencia en el manejo de técnicas e instrumentos para la observación astronómica (dibujar el horizonte natural; orientarse con la brújula; utilizar un nomon y un cuadrante; dibujar la trayectoria del Sol con la ventana astronómica, ...)

3. Inventar y apropiarse de un modelo del Sistema Sol/ Tierra que explique los ciclos y simetrías en el movimiento del Sol (alternancia día/ noche; duración del día; orto/ocaso y la elevación angular máxima). Ello supone dos grandes pasos necesarios:

- Colocar en la Tierra esférica un observador –con todo lo necesario para seguir el movimiento del Sol (plano del horizonte y vertical; puntos cardinales; nomon,..)- que corresponda al observador real en el suelo, en su localidad
- Utilizar el modelo Sol/ Tierra en el espacio (prototipo) y gráficamente (en el papel), determinando cómo debe moverse para que el observador colocado en la Tierra esférica “vea” lo mismo que el observador real. Es decir, utilizar el modelo para explicar el movimiento del Sol en los días singulares (equinoccios y solsticios) y sus ciclos, tanto en su localidad como en otro punto de la Tierra.

Posibles obstáculos:

- La visión espacial y la relatividad visual (obstáculo histórico: Copérnico hizo grandes esfuerzos para convencer a sus contemporáneos de que se “vería lo mismo” independientemente de que girara el Sol alrededor de la Tierra o la Tierra sobre sí misma). Tienen que pasar la observación realizada desde una esfera en movimiento (la Tierra) a la observación que se vería en el suelo, y viceversa.
- El uso anterior reiterado de modelos gráficos del sistema Sol/ Tierra deformados y erróneos: por su escala; por acentuar la trayectoria elíptica (cuando es prácticamente circular) de la Tierra; por colocar erróneamente el Sol más cerca de la Tierra en el verano del hemisferio Norte; y por dibujar la luz del Sol como haces divergentes (en vez de paralelos) cuando llega a la Tierra.
- Identificación de observaciones y explicaciones: asignan el estatus de “hecho” a aspectos que forman parte del modelo, fruto de invenciones. Por ejemplo: creen que es observable la distancia Sol/ Tierra; o la “inclinación del eje”; identifican altura sobre el suelo con distancia Sol/ Tierra, mayor duración con mayor cercanía,.. .
- La analogía térmica: asocian la mayor o menor temperatura únicamente con la distancia Sol/ Tierra. Se trata de la idea espontánea más arraigada (como muestran las investigaciones hechas sobre la comprensión del modelo Sol/ Tierra) y requiere un tratamiento específico hasta que puedan explicar con comprensión las múltiples causas de la diferencia de temperatura media sin recurrir a la distancia Sol/ Tierra.
- El aprendizaje anterior de definiciones estereotipadas: eje “inclinado”, meridiano, paralelo, latitud y longitud; que deben ser sustituidas por conceptos con referentes prácticos, medibles y, sobre todo, con sentido dentro de un proceso de solución de algún problema (¿cómo podemos saber dónde nos encontramos en la esfera terrestre si vivimos en su superficie?)

Ejemplo 2: La planificación de una gran síntesis con una estructura problematizada: “la Mecánica Newtoniana” (Cinemática y Dinámica).

Tabla 2.1 META ORIENTADORA Y PROBLEMAS ESTRUCTURANTES DE LA SÍNTESIS SOBRE “EL MOVIMIENTO DE TODAS LAS COSAS”

META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)	
<p>Conseguir que los estudiantes construyan un cuerpo de conocimientos que les permita describir movimientos con la máxima precisión posible (es decir, en términos de la evolución de las magnitudes posición, velocidad y aceleración) y realizar predicciones en movimientos regulares. Investigar la naturaleza de algunos movimientos reales, en particular, el movimiento de caída libre o el de una burbuja de aire, y poner a prueba el cuerpo de conocimientos construido en situaciones problemáticas.</p>	
PROBLEMA ESTRUCTURANTE	SUBPROBLEMAS ESTRUCTURANTES
<p>¿Por qué los objetos se mueven de forma distinta?</p> <p>¿Es posible que el movimiento de una piedra lanzada al aire pueda explicarse de la misma manera que el movimiento de la Luna?</p> <p>¿Hay diferencias fundamentales entre los movimientos de los diferentes objetos de la Naturaleza, o podemos encontrar una explicación universal para todos los movimientos independientemente del objeto que se mueva?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo caracterizar un movimiento? ¿cómo distinguir un movimiento de otros? (Cinemática) • ¿Qué es lo que hace que un movimiento sea de un tipo o de otro? ¿Cómo conseguir que cualquier objeto realice un movimiento deseado? (Dinámica)

Tabla 2.2. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS

METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS
<p>1. Inventar magnitudes que sirvan para caracterizar y diferenciar unos movimientos de otros independientemente de la naturaleza del objeto que se mueve.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Invención y manejo significativo de las magnitudes necesarias para describir los movimientos: posición, cambio de posición, velocidad y aceleración. - Estudiar el movimiento de los objetos ignorando su naturaleza, imaginándolos como puntuales, convirtiéndolos en “objetos teóricos”, lo que permite su “matematización” (como en los trabajos de Galileo sobre el péndulo, Mathews, 1994_a), estudiar el fenómeno en <i>condiciones no reales</i> (Rioja y Ordóñez, 1999). Esto supuso un paso esencial frente a la teoría aristotélica, que asociaba el tipo de movimiento a la naturaleza de los objetos, y una nueva forma de producir conocimientos (Mason, 1985) - Apreciación del carácter relativo del movimiento y la consiguiente necesidad de adoptar un sistema de referencia para estudiarlo. - Utilización del lenguaje gráfico para describir la evolución de las magnitudes en los movimientos. - Comprensión cualitativa y cuantitativa de las gráficas relacionándolas con movimientos reales y hallando valores a partir de ellas. - La idea, en particular, de composición de movimientos rectilíneos para explicar las trayectorias curvilíneas (la invención de magnitudes vectoriales).

Posibles obstáculos:

- Posibilidad de confundir espacio, desplazamiento y distancia recorrida (Gil, 1982).
- Asociación entre la posición y la rapidez y entre ésta y la aceleración (Trowbridge y McDermott, 1980).
- Tendencia a confundir las gráficas del movimiento con el mismo movimiento, identificando las mismas con la trayectoria realmente seguida por el móvil (Peters, 1982; McDermott et al., 1987).
- Tendencia a describir, en cualquier situación, el movimiento de los cuerpos como un movimiento absoluto con relación a un espacio en reposo y de forma que el sentido positivo coincida siempre con el del propio movimiento o adoptar sistemas de referencia “egocéntricos”
- Tendencia a manejar las ecuaciones y a abordar los problemas de modo mecánico u operativista (Gil y Martínez Torregrosa, 1987_a).

2. La sustitución del reposo o del movimiento circular uniforme -como creía Galileo, el movimiento de inercia circular (Cohen, 1989)- como el estado natural de los cuerpos, por la idea de que no es posible distinguir entre reposo y movimiento rectilíneo y uniforme (MRU).

- Esto equivale, de hecho, a la concepción cualitativa de que no hace falta que actúe una fuerza sobre un cuerpo para que esté en reposo o en MRU, y sí para que esté con cualquier otro movimiento.
- La comprensión de que para producir un movimiento circular uniforme (MCU) no se requiere una fuerza “hacia afuera del centro”, sino “hacia el centro”. Esto orientó la atención a la influencia fundamental del cuerpo central, en el sistema Tierra/Luna por ejemplo. El análisis centrífugo había centrado su atención en el cuerpo que da vueltas, cuya tendencia a apartarse del centro parece no tener nada que ver con las propiedades del cuerpo central (Cohen, 1982).

Posibles obstáculos:

- Todas las ideas espontáneas sobre fuerza/movimiento, bien caracterizadas en la literatura didáctica. (Carrascosa, 1985; Hierrezuelo y Montero, 1988; Pfundt y Duit, 2004; ...)

3. La idea de que los cuerpos no pueden acelerarse a sí mismos, sino que debe de haber una interacción entre dos cuerpos para que se produzcan cambios en la velocidad. Cuando un cuerpo cambia su velocidad debe buscarse las fuentes de la interacción en la que participa, aunque no exista contacto visible.

- La hipótesis de la existencia de interacción a distancia, es decir que es posible que dos cuerpos se ejerzan fuerzas sin tocarse. Dicha hipótesis permitió superar la barrera existente entre el movimiento de cuerpos celestes, como la Luna, o el de caída de los cuerpos (que no interaccionan “por contacto” con otros) y el de los cuerpos terrestres (que interaccionan de forma evidente con otros cuando su movimiento es rectilíneo acelerado o circular uniforme, por ejemplo).
- La inverosímil idea de la existencia de fuerzas entre cuerpos sin “contacto” debidas a una propiedad universal, la masa, hizo posible una concepción unitaria del movimiento de todas las cosas, una explicación de cualquier movimiento basada en los mismos, y pocos, conceptos.

Posibles obstáculos

- Ideas espontáneas fuerza/movimiento (Viennot, 1976); Carrascosa et al. 1983).
- Creencia en la distinta naturaleza de los movimientos “celestes” y terrestres (ver página 132)

4. Utilizar la capacidad predictiva de dichas magnitudes e hipótesis para plantear y resolver situaciones de interés Realizar predicciones de movimientos regulares:

- Estudio de algunos movimientos utilizando las ecuaciones con sentido físico, comprendiendo el significado de las ecuaciones del movimiento y utilizándolas para realizar predicciones

5. Comprender el significado y relaciones de las magnitudes que permiten caracterizar un movimiento. Diferenciar movimientos utilizando dichas magnitudes (escalares y vectoriales)

- Saber qué hacer para caracterizar un movimiento tipo y/o hallar el valor de las distintas magnitudes para ese movimiento
- Estudio de algunos tipos de movimiento (uniforme), utilizando las ecuaciones con sentido físico
- Familiarización con un cálculo vectorial mínimo (cualitativo), ligado a la apreciación del carácter vectorial de las magnitudes, para permitir después comprender el concepto newtoniano de fuerza...

Posibles obstáculos:

- Algunas preconcepciones mecánicas como, por ejemplo, la idea de que un cuerpo de doble masa que otro ha de caer justamente en la mitad de tiempo, cuando ambos se suelten desde la misma altura

Tabla 2.3 META ORIENTADORA Y PROBLEMAS ESTRUCTURANTES DEL TEMA: ¿Cómo caracterizar el movimiento de un objeto? Cinemática

META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)
Inventar magnitudes que sirvan para caracterizar y diferenciar unos movimientos de otros independientemente de la naturaleza del objeto que se mueve y utilizar la capacidad predictiva de dichas magnitudes para plantear y resolver situaciones de interés
PROBLEMA ESTRUCTURANTE
¿Cómo caracterizar el movimiento de un objeto?
¿Cómo distinguir un movimiento de otro?

Tabla 2.4. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS

METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS
<p>1. Establecer el carácter relativo del movimiento y la necesidad de adoptar un sistema de referencia</p> <ul style="list-style-type: none"> - El avance del alumnado hacia una concepción del carácter relativo del movimiento, debe permitirles adoptar diferentes sistemas de referencia para describir un mismo movimiento <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tendencia a adoptar sistemas de referencia “egocéntricos”
<p>2. Inventar y manejar de las magnitudes necesarias para describir los movimientos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprender el significado y relaciones de las magnitudes que permiten caracterizar un movimiento y diferenciar movimientos utilizando dichas magnitudes (escalares y vectoriales), y caracterizar un movimiento tipo y/o hallar el valor de las distintas magnitudes para ese movimiento - Un manejo significativo de las magnitudes cinemáticas, debe permitirles describir movimientos sencillos en términos de las variaciones de dichas magnitudes y, recíprocamente, tener una imagen cualitativa de cómo es un movimiento, conocidos los valores y las variaciones de las magnitudes; interpretar el significado de valores grandes o pequeños, positivos o negativos, de dichas magnitudes, etc. - La apreciación del carácter vectorial de la velocidad y de la aceleración, debe permitirles dibujar vectores representativos de ambas magnitudes en movimientos concretos <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Confundir sentido/con dirección del movimiento - No diferenciar los conceptos de posición, desplazamiento y distancia recorrida - No diferenciar la posición de la rapidez - Confundir rapidez y aceleración
<p>3. Utilizar del lenguaje gráfico para describir los movimientos, es decir, comprender cualitativamente las gráficas relacionándolas con movimientos reales, y hallar valores a partir de ellas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La familiarización con el lenguaje gráfico para describir la evolución de las magnitudes cinemáticas, debe permitirles dibujar correctamente gráficas $e = f(t)$ y $v = f(t)$ para movimientos sencillos, y, recíprocamente, describir cualitativamente el movimiento a partir de estas gráficas, traducir gráficas $e = f(t)$ al lenguaje $v = f(t)$ y viceversa, conectar el lenguaje gráfico con el simbólico (ecuaciones), etc. <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - La tendencia a confundir gráficas con el propio movimiento, con la trayectoria. - Cuando la velocidad disminuye el móvil retrocede.

4. Comprender el significado de las ecuaciones del movimiento, realizando el estudio de algunos movimientos utilizando las ecuaciones con sentido físico y utilizarlas para realizar predicciones de movimientos regulares

- La utilización de las ecuaciones del movimiento con sentido físico ha de permitirles, además de realizar un planteo numérico mínimo, utilizar las ecuaciones adecuadas al tipo de movimiento de que se trate, preceder los procesos operativos de un planteamiento cualitativo con las características conocidas del movimiento, etc.
- El grado de conocimiento de los movimientos uniforme y uniformemente acelerado, debe ser suficiente para permitirles acotar problemas abiertos a uno u otro tipo de movimiento de modo fundado (por ejemplo, asociando una maratón al movimiento uniforme, un cuerpo lanzado desde el suelo al movimiento acelerado), también para que puedan describir con precisión cómo varían las magnitudes en estos dos tipos de movimiento, etc.
- Por lo que se refiere al abordaje de problemas como investigación, en este tema los estudiantes comenzarán a familiarizarse con una metodología que exige acotar y operativizar situaciones abiertas (imponiendo condiciones simplificadoras que las hagan abordables, etc.), emitir hipótesis sobre las variables de que puede depender la magnitud buscada, elaborar y llevar a cabo estrategias de resolución, dudar de los resultados obtenidos analizándolos en relación con las hipótesis emitidas, etc.
- Estos mismos aspectos se fomentarán en el desarrollo del trabajo práctico como investigación, donde se enfrentarán también a la realización de un diseño experimental. Esta investigación también contribuirá a iniciar la ruptura con las ideas prenewtonianas sobre el movimiento

Posibles obstáculos:

- La tendencia a manejar las ecuaciones y abordar los problemas de forma mecánica u operativista
- Dificultades en las operaciones matemáticas, que dificultan el pensamiento cualitativo

Tabla 2.5 META ORIENTADORA Y PROBLEMAS ESTRUCTURANTES DEL TEMA: ¿Cómo conseguir un movimiento de una forma determinada? Dinámica

META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)

Encontrar una explicación común, independiente del objeto, a qué hace falta para que un movimiento sea de una forma determinada y aplicar la capacidad predictiva de dicha explicación para plantear y resolver situaciones de interés

PROBLEMA ESTRUCTURANTE

¿Qué es lo que hace que el movimiento de un objeto sea de un tipo u otro? ¿Cómo conseguir que un movimiento sea como deseamos? ¿Podemos controlar los movimientos?

Tabla 2.6. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS

METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS	
1. Lograr la comprensión cualitativa del concepto de fuerza como causa de la aceleración y admitir la equivalencia total entre reposo y MRU.	<p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Asociar fuerza con velocidad, pensar que la fuerza es el empuje inicial - Si cesa la fuerza los objetos se paran, si se mueve es que hay una fuerza (confundir la fuerza/impetus) - Creencias vitalistas (el más grande ejerce una fuerza mayor) - Uno de los cuerpos no experimenta aceleración visible (tendencia a adoptar sistemas de referencia “egocéntricos”)
2. Identificar la dirección, sentido y valor de la fuerza resultante para movimientos sencillos (MRU, MRUA, MCU), lo que supone identificar las fuerzas que intervienen.	<p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Considerar que la reacción es una “respuesta a la acción”, la anula o equilibra - Lograr que los alumnos incorporen a su forma de pensar que los cuerpos no pueden acelerarse a sí mismos, que ha de haber interacción para que se acelere
3. La interacción gravitatoria como una hipótesis que supera las barreras que parecen existir entre el movimiento de distintos objetos.	<p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Unos objetos pueden acelerarse por sí mismos (Luna, planetas,...) y otros sólo cuando están en contacto con otros objetos - Los astros flotan, se mueven circularmente por su naturaleza, porque están en equilibrio. - La interacción a distancia, sin que los objetos estén en contacto.
4. Aplicar la capacidad predictiva de las ideas a situaciones problemáticas	<p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - La tendencia a manejar las ecuaciones y abordar los problemas de forma mecánica u operativista

Ejemplo 3:"La Búsqueda de la Unidad en la Naturaleza": La estructura de todas las cosas

En el ejemplo que proponemos a continuación, la (re)construir una de las grandes síntesis, "la unidad en la estructura de todos los materiales" (una aspiración que muestra claramente la finalidad de la ciencia y que tardó siglos en constituirse), está pensada para el primer curso que los alumnos estudian este tema. De nuevo buscamos criterios científicos como el compromiso de universalidad y de ideas unitarias, es decir, la búsqueda de concepciones globalizadoras como uno de los motores del desarrollo del conocimiento científico (Martínez Torregrosa y Verdú, 1993) para organizar y secuenciar el curso.

La creación de un contexto de resolución de problemas, en el que se integra el aprendizaje de los conocimientos científicos, de la naturaleza de la ciencia y la práctica de la misma, el compromiso desde el principio de buscar la elaboración de síntesis globales, que constituyan "concepciones" racionales del mundo, lo que permite que los temas de un curso, o parte de él, han de representar un avance intencionado hacia una gran síntesis.

Según hemos fundamentado anteriormente, ello permitirá un hilo temático para el desarrollo de la síntesis propuesta y de problemas abiertos que generan múltiples relaciones y abren nuevas expectativas, y que facilita la evaluación de lo que se ha avanzado y lo que queda por hacer.

En primer lugar, coherentemente con el análisis epistemológico realizado, y que aquí no comentaremos, la pregunta para avanzar en esta síntesis será: ¿qué puentes hubo que levantar, qué barreras y asimetrías hubo que superar, para establecer dicha concepción universal? La historia, la filosofía y la propia epistemología de las ciencias (Mason, (1985, 1986); Holton, (1976); Holton, Rutherford y Watson,(1982);; Holton, (2001); Einstein e Infeld, (1939); Boyle, (1985)), entre otros), son las fuentes principales en la que nos hemos basado para la selección.

Tras el estudio realizado, las ideas y los pasos que supusieron avances importantes para poder construir dicha concepción unitaria de la estructura de todas las cosas fueron:

a) La barrera entre continuidad/discontinuidad, cuya superación sólo fue posible tras:

- franquear las tajantes diferencias que parece existir entre sólidos/líquidos por una parte y los gases por otra (es decir, buscar propiedades comunes a todos ellos);
- consolidar la hipótesis corpuscular para los gases, y
- comprobar que una propiedad de la materia, la carga y la interacción eléctrica, podía suministrar el nexo de unión necesario para extender la estructura corpuscular de los gases a trozos de materia aparentemente "continuos" como los líquidos y sólidos.

b) La invención del concepto de átomo, molécula y del modelo cinético de reacción como puentes necesarios para reconciliar, por un lado, la enorme diversidad de sustancias existentes con la unidad en la estructura de todas ellas, y por otro, la permanencia con el cambio (el eterno dilema de la química): la desaparición de unas sustancias y la aparición de otras distintas, siendo posible, recuperar, en ocasiones, las que antes habían desaparecido.

c) la estructura del átomo permite explicar las semejanzas y diferencias del comportamiento de los elementos, el hecho que los átomos se unan entre sí para formar moléculas, sugiere que tiene que haber algo que los mantenga unidos, quizás fuerzas de tipo eléctrico, en cuyo caso, las cargas eléctricas podrían formar parte de los átomos. La invención del concepto de enlaces entre los átomos y sus distintos tipos para explicar por qué y cómo se unen los átomos para formar distintas sustancias y sus propiedades.

En esta síntesis se empieza abordando el problema de si ¿todos los materiales (sólidos, líquidos y gases) tienen una estructura común, a pesar de su diversidad

aparente?, si hay propiedades generales de la materia. El criterio de universalidad, de unidad, nos lleva a plantear el problema de si existen propiedades comunes a toda la materia. Pero ¿qué es materia? Una de las dificultades, avaladas por las investigaciones didácticas, es la consideración de que los gases son *inmateriales*. Por lo que si queremos que nuestros alumnos superen esta barrera será necesario abordar si los gases son o no materia y cuáles son las propiedades comunes que caracterizan la materia (la masa, el volumen, el peso y la densidad). Si hay propiedades comunes, es posible que toda materia tenga una estructura común. Para ello, se inicia el tema con la búsqueda de un modelo para los gases y, posteriormente, su generalización a sólidos y líquidos. Pero a la vez que se va avanzando en el modelo, se plantean nuevos problemas: ¿por qué no puedo comprimir un gas o un sólido tanto como queramos? Este problema nos lleva a la necesidad de introducir una nueva propiedad de la materia, no tan evidente como las anteriores, la carga eléctrica. Este tema que se da normalmente en otro contexto, surge aquí como una necesidad para poder avanzar en la resolución del problema planteado, insertado en el hilo conductor del curso.

Una vez establecidas las propiedades generales de la materia y un primer modelo de la estructura corpuscular se profundiza en el modelo abordando el problema de: ¿es posible encontrar una explicación a los cambios o transformaciones que ocurren continuamente en la Naturaleza?, ¿cómo explicar estas transformaciones en que se forman sustancias con propiedades distintas de las iniciales? Estas preguntas son de especial interés porque nos va a permitir avanzar en la respuesta a otras cuestiones planteadas a lo largo del curso: ¿Cómo explicar la enorme variedad de sustancias existentes?, ¿qué es lo que hace que unas sustancias tengan propiedades diferentes a las otras?, es decir, ¿qué es lo que hace ser diferentes al plomo y al oro, o al agua y al alcohol? El dar respuestas a estas preguntas nos obliga a modificar el modelo y establecer la teoría atómico-molecular de la materia. La invención de los conceptos de átomos y moléculas, los elementos, las sustancias simples y compuestas. El hecho de que la ordenación de los distintos tipos de átomos, ordenados inicialmente por su masa y sus propiedades, suponen un gran éxito: el sistema periódico. Esta ordenación, sin embargo, plantea nuevos interrogantes: ¿cómo podemos explicar las semejanzas entre los elementos de una familia?, ¿por qué a medida que nos alejamos en la

tabla periódica de una familia de elementos las semejanzas son cada vez menores?,... El modelo inicial de átomo se muestra como un modelo agotado, pues la única diferencia entre los átomos de los distintos elementos es su masa y, evidentemente, ésta no puede explicar las semejanzas y diferencias entre los elementos. La necesidad de que haya más diferencias entre los átomos de los distintos elementos cuestiona fuertemente la idea de átomos indivisibles, pues, si por el contrario, estuvieran constituidos por partículas más elementales podríamos pensar en atribuir las diferencias y semejanzas de comportamiento a dichas partículas. Este problema nos lleva a buscar un modelo de la estructura del átomo y de los enlaces como uniones entre ellos, que permite justificar la diversidad de sustancias y las propiedades de las mismas.

En resumen, estas preguntas constituyen el hilo conductor básico del curso, que se llama por ello "La búsqueda de la unidad en la Naturaleza", y que se estudia en temas problemas más concretos que se plantean para avanzar en una posible solución a las mismas.

A continuación presentamos las metas orientadoras y los problemas estructurantes que abordaremos para construir esta síntesis.

Tabla 3.1. META ORIENTADORA Y PROBLEMAS ESTRUCTURANTES DE LA SÍNTESIS SOBRE “LA ESTRUCTURA DE TODAS LAS COSAS” (Un curso completo para alumnos 14-15)

META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)	
<p>Conseguir que los estudiantes construyan un cuerpo de conocimientos que les permita y pongan a prueba el cuerpo de conocimientos construido en situaciones problemáticas.</p>	
PROBLEMA ESTRUCTURANTE	SUBPROBLEMAS ESTRUCTURANTES
<p>¿Todas las cosas que vemos a nuestro alrededor -de una enorme variedad de propiedades y comportamientos- son intrínsecamente distintas o, por el contrario, existe algo común a todas ellas, que pueda explicar esta variedad desde la unidad/sencillez?</p> <p>¿Cómo se explican entonces los cambios o transformaciones que ocurren en la Naturaleza y la misma diversidad de sustancias?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Existen propiedades que sean comunes a todos los materiales independientemente de su naturaleza, es decir, de que sean sólidos, líquidos o gases de cualquier tipo? • ¿Todos los materiales –nosotros mismos también- están formados de un modo esencialmente distinto unos de otros o, por debajo de la evidente diversidad existe una estructura común? • ¿Es posible encontrar una estructura común a todas las sustancias y que al mismo tiempo pueda explicar los cambios o transformaciones que ocurren a nuestro alrededor (cambios de estado, desaparición y aparición de sustancias -lo que sucede cuando se quema un papel, se fríe un huevo o se echa cinc en ácido clorhídrico-) y la inmensa variedad de la Naturaleza?

Tabla 3.2. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS

METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS	
1. Conocer las propiedades comunes y diferenciadoras de los materiales	
-	Conocer el volumen, masa y peso como propiedades comunes a todos los materiales sólidos, líquidos y gases.
-	Conocer la densidad como una propiedad diferenciadora de los materiales
2. Invención del modelo cinético-corpúscular para los gases. Interpretación cinética de sus propiedades: compresibilidad, presión, dilatación térmica, difusibilidad	
-	Extensión del modelo a sólidos y líquidos: cambios de estado, dilatación térmica de sólidos y líquidos,..
3. Electrización y conducción. Modelo de cargas.	
-	Incorporación del modelo de cargas al modelo corpúscular.
4. La existencia de transformaciones en las que desaparecen unas sustancias y aparecen otras nuevas con propiedades diferentes (y, más aún, de la posibilidad, en determinadas condiciones, de volver a obtener las sustancias iniciales a partir de las nuevas	
-	Propiedades características de las sustancias y separación de sustancias
-	Aproximación macroscópica/sub-microscópica a los conceptos de mezcla, disolución, sustancia pura, elemento y compuesto
-	Modelo atómico-molecular: Interpretación a su luz de los conceptos anteriores y modelo de reacción
-	Predicciones a partir del modelo: masas atómicas relativas, leyes de las reacciones (conservación de la masa y ley de las proporciones) y sistema periódico
-	Aspectos del comportamiento de los materiales que cuestionan el carácter indivisible, sin estructura interna, de los átomos

Tabla 3.3. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS: LA BÚSQUEDA DE PROPIEDADES COMUNES EN UN MUNDO DIVERSO: PROPIEDADES GENERALES DE LA MATERIA

META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)
Superar la tajante barrera que parece existir entre las propiedades y comportamiento de líquidos, sólidos y gases, llegando a admitir que tienen propiedades comunes (masa, volumen,..) y que son atraídos por los planetas, es decir, que pesan.
PROBLEMA ESTRUCTURANTE
¿Existen propiedades que sean comunes a todos los materiales independientemente de su naturaleza, es decir, de que sean sólidos, líquidos o gases de cualquier tipo?

Tabla 3.4. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS: ESTRUCTURA CORPUSCULAR DE LA MATERÍA

<p>META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)</p> <p>Una vez aceptado que hay propiedades comunes a todos los materiales, conseguir que el modelo cinético/corpuscular de la materia sea percibido como un modelo que, de un modo sencillo y unitario, explica las propiedades comunes de los materiales y algunos aspectos de su comportamiento.</p>
<p>PROBLEMA ESTRUCTURANTE</p> <p>¿Existe una estructura común que justifique que la materia tiene propiedades comunes? ¿Cómo están formados los materiales para tener las propiedades y comportamiento que tienen?, es decir, ¿cuál es su estructura?</p>

Tabla 3.5. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS: OTRA PROPIEDAD COMÚN DE LA MATERIA: LA CARGA ELÉCTRICA

<p>META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)</p> <p>Incorporar la carga eléctrica como una propiedad general de la materia (llegando a admitir la existencia de dos tipos de carga y fuerzas atractivas y repulsivas), e integrar un modelo elemental de estructura eléctrica en el modelo corpuscular, apreciando que explica gran variedad de fenómenos cotidianos y supone un avance en algunos de los problemas abiertos sobre la estructura de la materia (y, a su vez, genera nuevos interrogantes).</p>
<p>PROBLEMA ESTRUCTURANTE</p> <p>¿Cuál es la naturaleza de las fuerzas entre las partículas?</p>

Tabla 3.6. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS: LA ESTRUCTURA DE LAS SUSTANCIAS Y LA PRODUCCIÓN DE NUEVAS SUSTANCIAS

<p>META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)</p> <p>Lograr que se apropien del modelo atómico-molecular y aprecien que dicho modelo puede integrar la naturaleza corpuscular y eléctrica de la materia, puede explicar de modo simple y unitario los cambios químicos y es un modelo potente para hacer predicciones sobre el desarrollo de las reacciones químicas, ya que abre perspectivas de gran interés (control de reacciones, producción de sustancias con determinadas propiedades, ..)</p>
<p>PROBLEMA ESTRUCTURANTE</p> <p>¿Se puede explicar el que existan tantas sustancias diferentes, y el que unas sustancias se transformen en otras distintas? ¿Cómo explicar la enorme variedad de sustancias existentes?</p>

Tabla 3.7. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS: LA ESTRUCTURA ATÓMICO-MOLECULAR DE LAS SUSTANCIAS

<p>META ORIENTADORA (U OBJETIVO-CLAVE)</p> <p>Explicar las semejanzas y diferencias en el comportamiento de los distintos elementos a partir de la estructura electrónica de los átomos. Integrar en el modelo atómico molecular y la propiedad eléctrica.</p>
<p>PROBLEMA ESTRUCTURANTE</p> <p>¿A qué es debida la enorme variedad de sustancias?, ¿Y qu desaparezcan y aparezcan sustancias? es decir, ¿se debe a que son distintas las partículas? o, por el contrario, ¿sólo hay unos pocos tipos de partículas y diferentes uniones entre ellas?</p>

TABLA 3.8. PROBLEMAS ABIERTOS AL FINALIZAR LOS TEMAS:

<ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué mantiene a las partículas en movimiento? - ¿Por qué a la misma temperatura unas sustancias se encuentran en estado sólido, otras en estado líquido y otras en estado gaseoso? - ¿Cómo se distribuyen las cargas en las partículas? ¿se ve afectada esa distribución por la proximidad de otras partículas? - ¿De qué modo se puede explicar la existencia de fuerzas atractivas o repulsivas entre partículas según los casos? (P. Ej.: límite de compresibilidad frente a cohesión).¿Cómo son a su vez las partículas?, es decir, ¿son macizas, con estructura interna,..? - ¿Qué posibilita que unas sustancias reaccionen y otras no? ¿por qué tras una reacción se producen unas determinadas sustancias (una determinada reordenación) y no otras? - ¿Por qué los electrones de un átomo se distribuyen de la forma en que lo hacen?

A modo de ejemplo, de esta síntesis hemos seleccionado el tema de estructura corpuscular para establecer las metas parciales y obstáculos asociados

Tabla 3.9. METAS PARCIALES (O PASOS NECESARIOS) Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS SOBRE EL TEMA DE ESTRUCTURA CORPUSCULAR

METAS PARCIALES Y OBSTÁCULOS ASOCIADOS	
1.	<p>Lograr que los alumnos incorporen a su forma de pensar el modelo cinético-corpúscular de los gases y recurran a él para interpretar fenómenos en contextos distintos a los vistos en clase, y/o dan razones de por qué se acepta el modelo corpúscular y no otros, para explicar la estructura de los materiales</p> <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Concepción continúa de la materia (Llorens, 1991, Gómez Crespo y Pozo, 2003) - Se limitan a dar meras explicaciones macroscópicas (como hacen cuando no disponen del modelo; Brook, Briggs y Driver, 1984 Caamaño, 1994; Gómez Crespo y Pozo, 2003), la idea de suponer inmatériales a los gases -que puede ponerse de manifiesto, p.e. considerando que en un cambio de estado de líquido a gas el primero desaparece (Furió, 1983; Stavi, 1990) - La dificultad para asumir el movimiento de las partículas gaseosas y, al tiempo, admitir que los gases pesan (Novick y Nussbaum, 1981) o los gases no tienen masa (Driver et al., 1989), Pozo et al., 1991)y, especialmente, - La tentación de atribuir a las partículas de los gases propiedades macroscópicas -p.e. suponer que al comprimir un gas se comprimen sus partículas, al fundirse se funden, etc. (Furió, 1983; Brook, Briggs y Driver, 1984; Driver, 1985; Sére, 1986; Llorens, 1988_a; ...) y -relacionado con esta cuestión- - El "horror al vacío" (creer que entre las partículas de un gas hay gas; Novick y Nussbaum, 1978, 1981; Gómez Crespo, 1996; Prieto y Blanco, 2000)
2.	<p>Conseguir que extiendan el campo de aplicabilidad del modelo inventado para los gases a los estados líquido y sólido, llegando a admitir que toda la materia está formada por partículas y recurrir al modelo para explicar algunas de sus propiedades(p.e. dureza, dilatación térmica, etc.).</p> <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Los átomos y moléculas de los sólidos no se mueven (Llorens, 1991; Caamaño, 1994; Gómez Crespo, 1996, ...). En los cambios de estado, las moléculas cambian de volumen o los enlaces entre los átomos de las moléculas se rompen (Posada, 1999; Garret y Hackling., 1995, ...)
3.	<p>Conseguir que lleguen a adquirir una primera idea precisa y diferenciada de los conceptos macroscópicos básicos introducidos en este tema y el anterior -peso, masa, volumen, presión y temperatura-, lo que puede apreciarse si los alumnos dan una interpretación correcta de sus variaciones utilizando el modelo</p> <p><i>Posibles obstáculos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - La confusión entre las fuerzas intermoleculares y los enlaces intramoleculares de los sólidos (Prieto, Blanco y González, 2000; Garret y Hackling, 1995; Posada, 1999; Benarroch, 2000;...)

C. Ejemplos de producciones de los alumnos experimentales

1. Ejemplos de contestaciones a las preguntas sobre diferencias y semejanzas de los movimientos

A.3. Si se suelta o se lanza un objeto, como una piedra, cae al suelo. ¿Por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?

Porque la Luna tiene gravedad y la piedra cae porque tiene una fuerza "tirandole" desde el suelo, como a nosotros.

Pregunta esta cuestión a 3 personas que conozcas:

PILAR: La fuerza que ejerce la Tierra sobre la Luna y ésta sobre la Tierra, se anula por la distancia, así que no puede caer sobre la Tierra. Y tampoco cae por la atracción.

M^{RA} AMPARO: A la Tierra la atrae el Sol, pero a la Luna la atraen el Sol y la Tierra. Al estar en el centro, y estar atraída por ambos lados, le impide caer. Si la Luna estuviera más cercana a la Tierra, hipotéticamente podría caer sobre la Tierra. Por eso el objeto cae al suelo, por estar más cerca y tener mayor fuerza de atracción.

AMPARO: Por la fuerza centrífuga. Al estar girando y hacer fuerza, se mantiene en el mismo sitio y no cae.

• SOLUCIÓN CLASE

- 1.- Igual fuerza de la gravedad.
- 2.- Fuerza centrífuga contrarresta la que hace la Tierra, fuerza total es 0
- 3.- Fuerza de los astros compensan la de la Tierra
- 4.- Esta fuera de la atmósfera.

• ENCUESTA EN CASA

- 1.- La fuerza de atracción de la Tierra se iguala con la que hace la luna.
- 2.- Por la igualdad de fuerzas que existe en la rotación de la luna y la atracción de la Tierra.
- 3.- No se ha planteado la pregunta, estará ensanchada.
- 4.- Porque la gravedad no la deja caer.
- 5.- La masa de la luna es mayor que la de la Tierra.
- 6.- Flota en el espacio
- 7.- En el espacio no hay gravedad.
- 8.- Por la velocidad que lleva la luna.
- 9.- Por que está en órbita.
- 10.- Porque la masa de la luna es menor que la de la Tierra.

3- Pregunta a 4 personas sobre la actividad anterior.

1- Porque el tamaño de la Luna es mucho menor que el de la Tierra.

2- Porque en el espacio no hay gravedad.

3- Porque la Luna está fuera de la atmósfera y esta impide que caiga.

4- Porque donde está la Luna la fuerza de la gravedad de la Tierra es muy baja, y por lo tanto no la atrae.

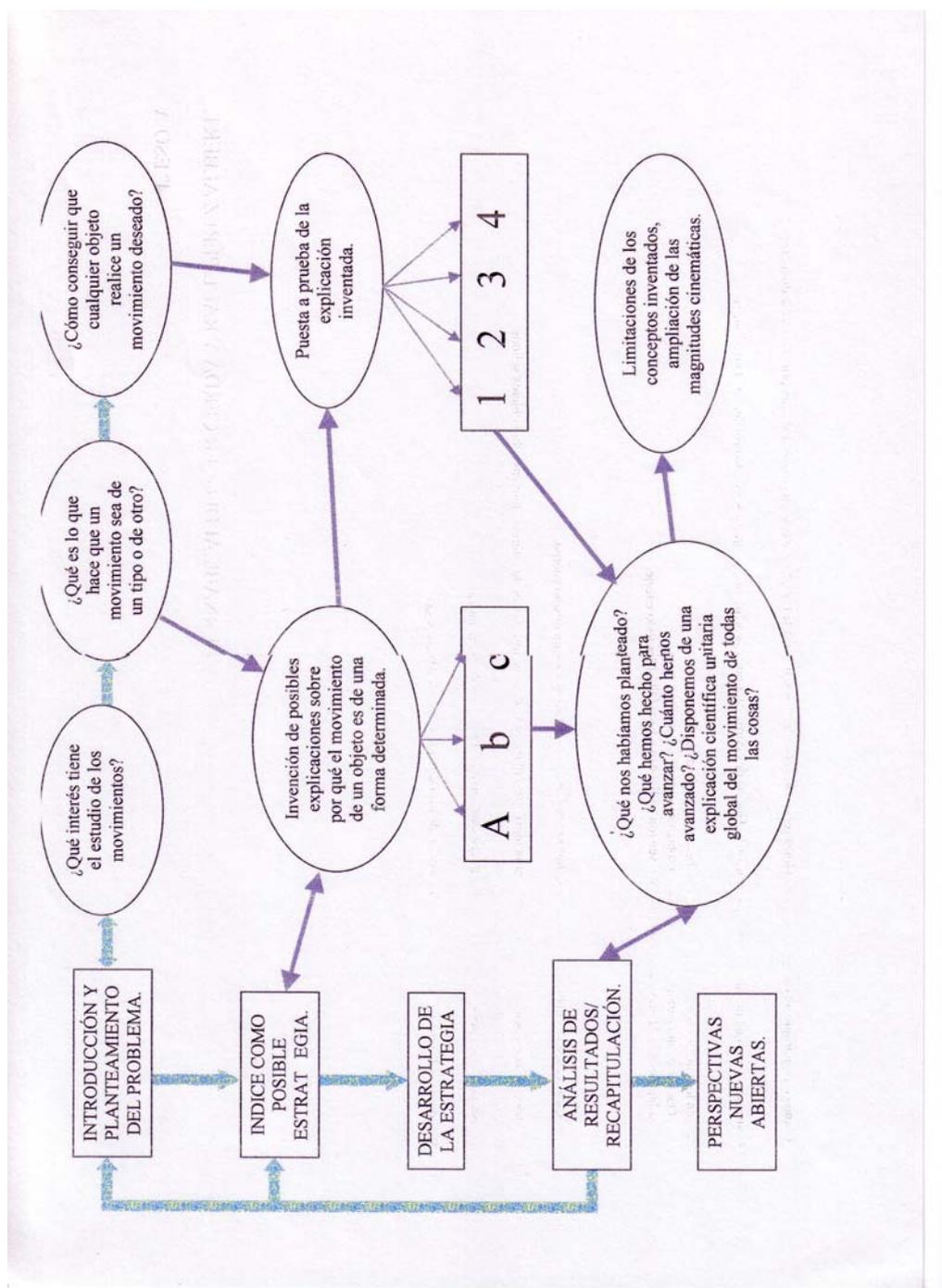
27- 9-99

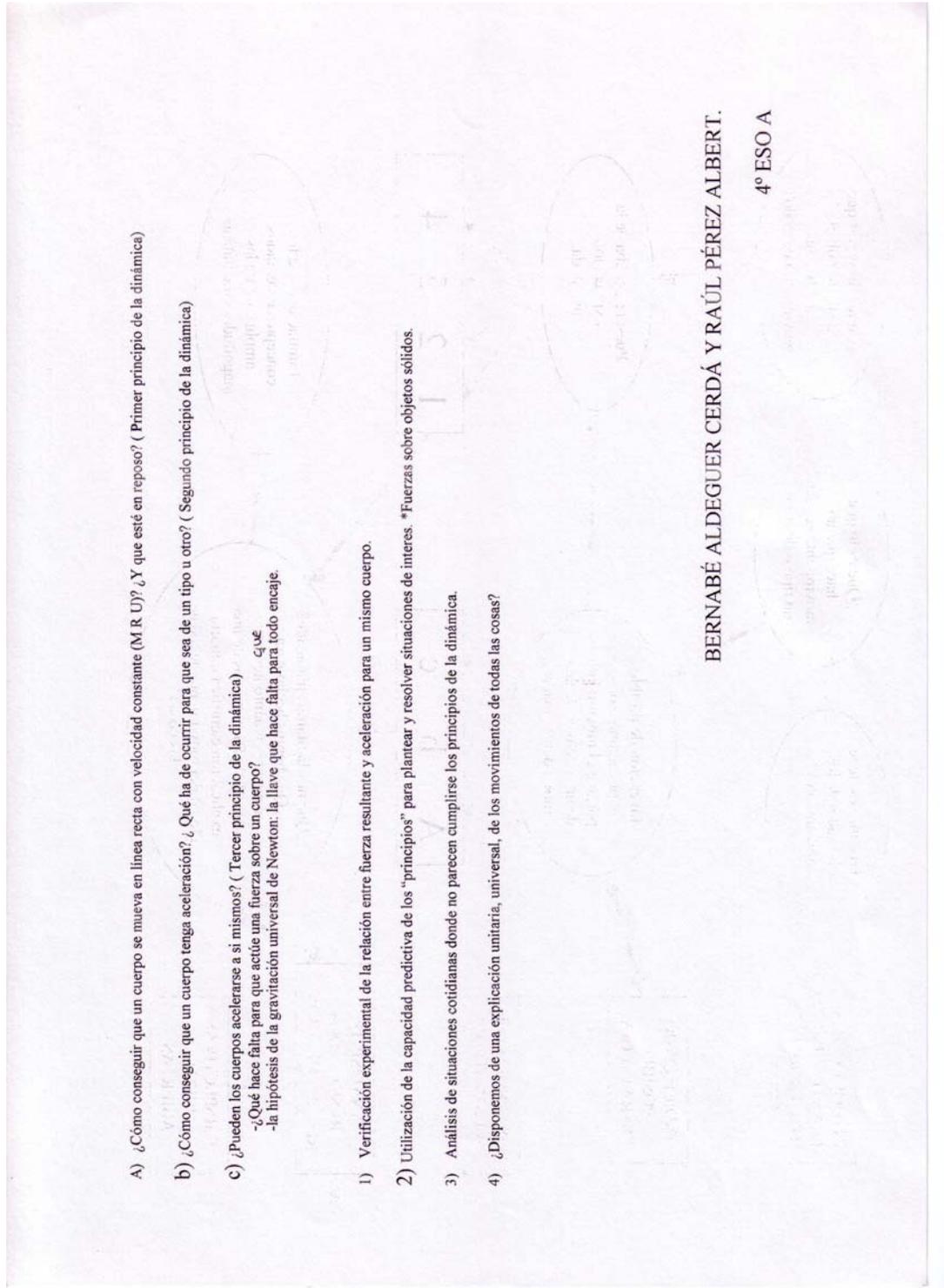
ENCUESTA DE TODA LA CLASE.

- La fuerza de atracción de la Tierra se iguala con la Luna.
- La igualdad de fuerzas que existe en la rotación de la Luna y la atracción de la Tierra.
- Estará enganchada con pegamento.
- Porque la gravedad no la deja caer.
- Por la velocidad que lleva la Luna.
- Por la ley de la gravedad.
- La masa de la Luna es mayor que la de la Tierra.
- Porque está en órbita.
- Flotan en el espacio.
- En el espacio no hay gravedad.
- Porque el tamaño de la Luna es menor que el de la Tierra.

2.- Ejemplos de gráficos realizados por los alumnos

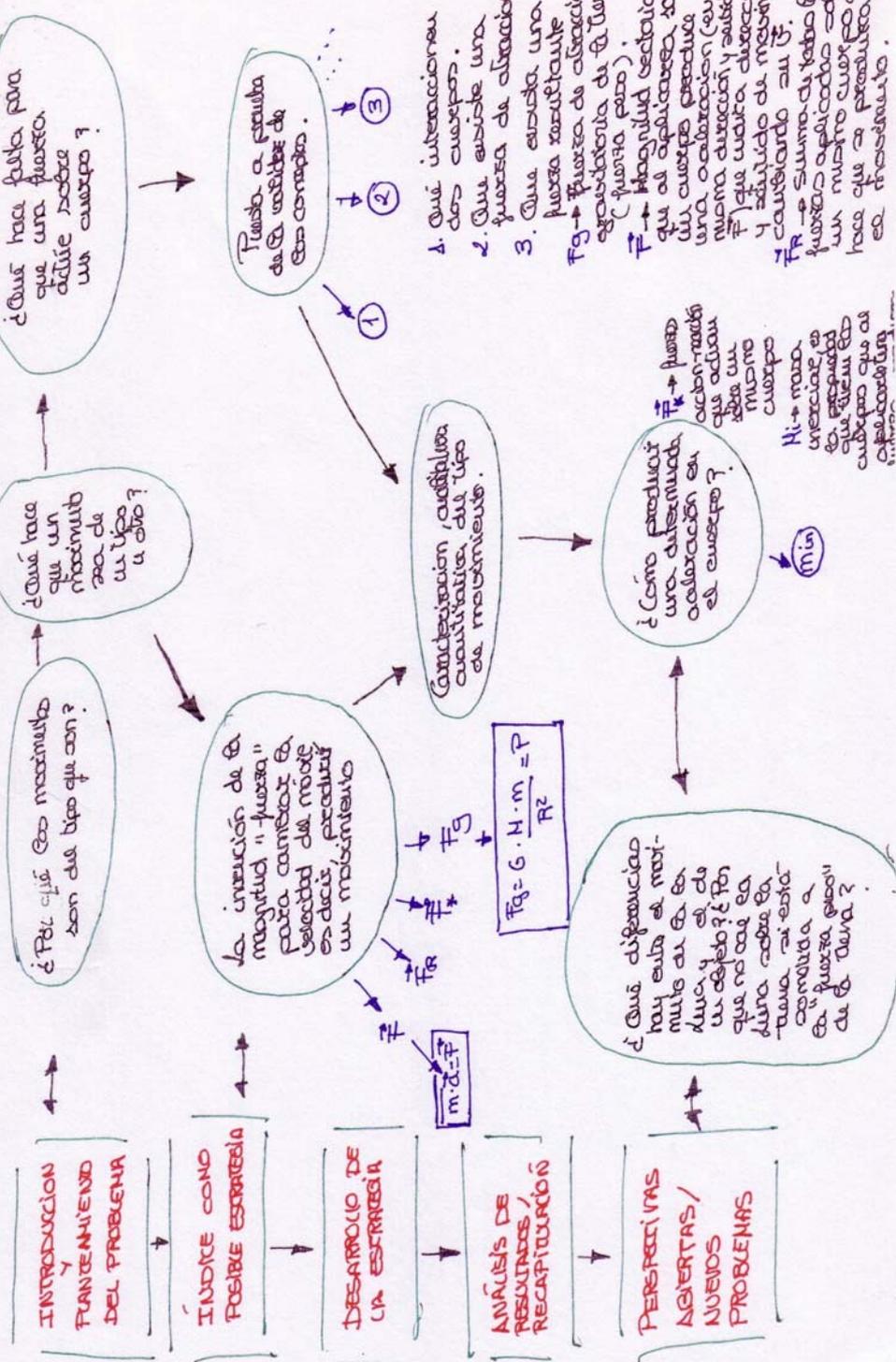
Después de explicarles como hacer un gráfico con un ejemplo, el gráfico del primer tema de ¿Cómo caracterizar el movimiento? (Cinemática) los alumnos elaboraron y presentaron como resumen el del siguiente tema: ¿Cómo conseguir que un movimiento sea como queremos? (Dinámica). A continuación presentamos algunos ejemplos de los realizados por los alumnos de 4º de ESO, después del tema de Dinámica.



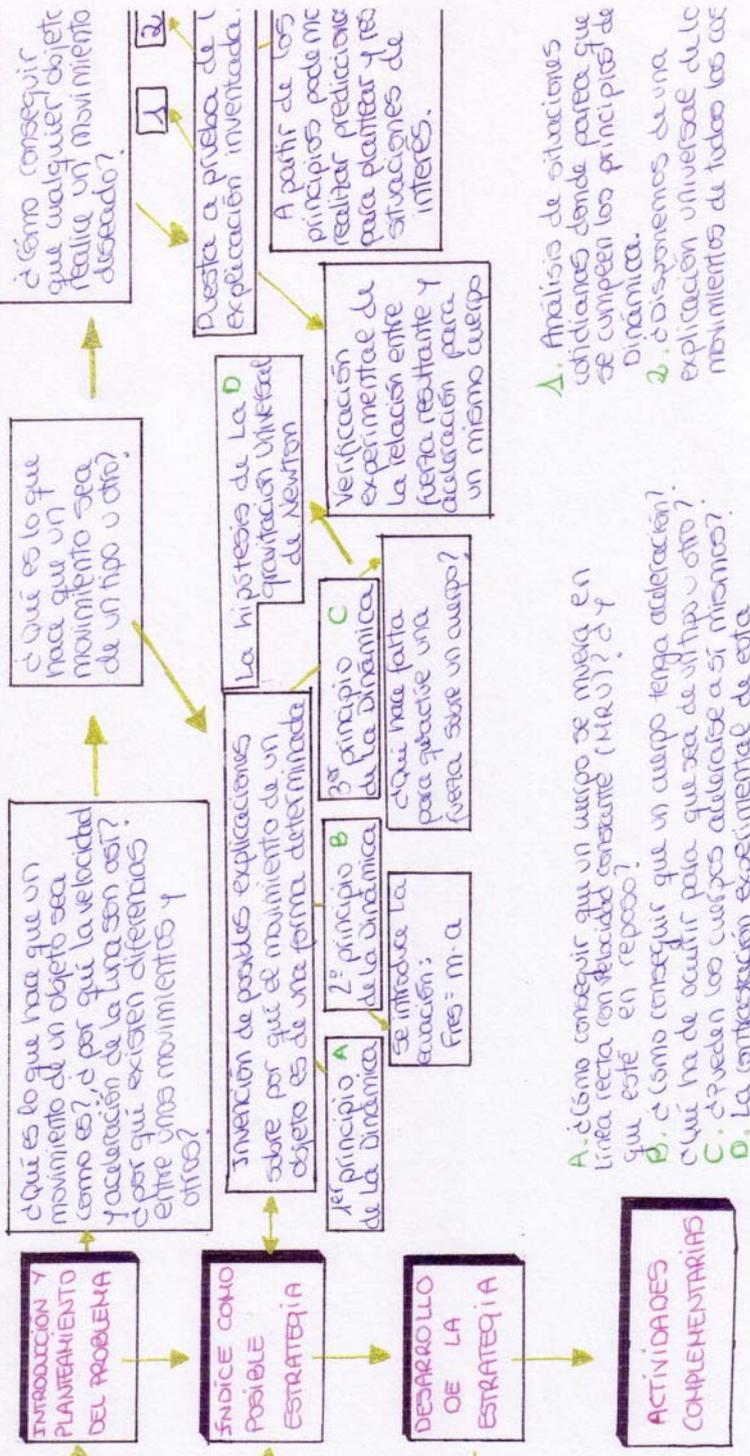


Segunda parte del primer gráfico

¿Qué hace falta para que una fuerza actúe sobre un cuerpo?
 ¿Qué hace que un máximo sea de un tipo u otro?
 ¿Por qué los máximos son del tipo que son?
 La intensidad de la magnitud "fuerza" para cambiar la velocidad del móvil es directamente proporcional a su movimiento.
 Caracterización cualitativa, cuantitativa, del tipo de movimiento.
 ¿Cómo producir una determinada aceleración en el cuerpo?
 ¿Qué diferencia hay entre el movimiento de un cuerpo que no cae y un cuerpo que cae? ¿Por qué no cae un cuerpo que está en reposo o que se mueve sobre la Tierra?
 ¿Qué interacción de los cuerpos.
 ¿Qué existe una fuerza de atracción?
 ¿Qué es una fuerza resultante?
 ¿Qué es la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra (fuerza peso)?
 Magnitud vectorial que se aplica sobre un cuerpo produce una aceleración (en su misma dirección y sentido) que produce un movimiento de movimiento cambiando su v .
 Sumando de todas las fuerzas aplicadas sobre un mismo cuerpo se hace que se produzca el movimiento.



capítulo 3. ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA DEL TEMA ¿Qué es lo que hace que un movimiento sea de un tipo u otro? ¿Cómo conseguir que cualquier objeto realice un movimiento deseado? (DINÁMICA)



1. Análisis de situaciones cotidianas donde parece que se cumplen los principios de Dinámica.
2. Diseñemos de una explicación universal de los movimientos de todos los cuerpos.

Lydia P. Verdú Verdú
L: B

- A. ¿Cómo conseguir que un cuerpo que sea de un tipo u otro? que esté en reposo?
- B. ¿Cómo conseguir que un cuerpo que sea de un tipo u otro? que esté en reposo?
- C. ¿Pueden los cuerpos acelerarse a sí mismos?
- D. La contracción experimental de esta hipótesis la realizó Cavendish, utilizando una "balanza de torsión" que puede medir fuerzas muy pequeñas. Se obtuvo $|F| = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ siendo G una constante universal. Cuando los masas se expresan en kg, la distancia en m y la fuerza en N, su valores de $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.

3. Ejemplos de resúmenes realizados por los alumnos de 4º ESO

Con la ayuda de las guías que nosotros hemos ido explicándoles a los alumnos, estos elaboran resúmenes problematizados de lo avanzado en clase. A continuación ponemos algunas de las producciones de los alumnos, de distintos temas y niveles.

Durante todo el curso hemos estado hablando de movimientos.

Al principio de curso nos planteamos porqué la luna describe su movimiento al rededor de la tierra y no cae. Ahora, sabemos de la luna, todo lo anterior. Para conseguirlo, hemos ido aprendiendo una serie de cosas:

Primero vimos los tipos de movimientos (Mov: Uniforme, uniformemente acelerado y variado, aunque éste no lo desarrollamos); también aprendimos a dar posiciones sobre la trayectoria, velocidades, aceleración...

Después, vimos las ecuaciones de los movimientos, para calcular la posición y la velocidad en un determinado punto.

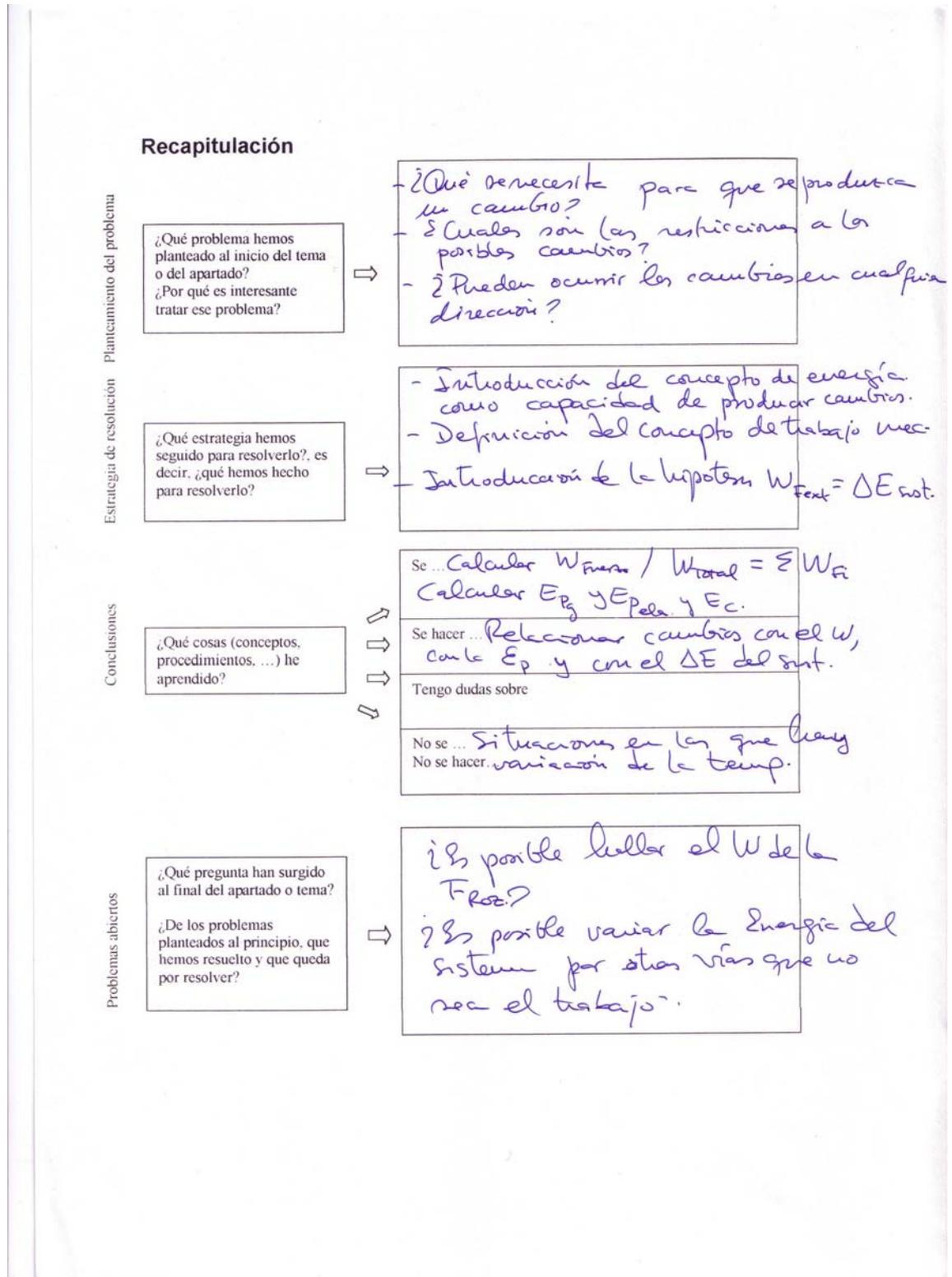
En el siguiente tema pudimos ver como hacer que un cuerpo tuviese aceleración, como medir las fuerzas y calcular la fuerza resultante, también aprendimos lo que era la gravedad, etc...

Luego pudimos saber el ^{porqué del} movimiento de la luna, porqué flota un cuerpo en otros planetas, etc

Finalmente vimos las fuerzas que ejercen los fluidos sobre cuerpos; consiguiendo saber porqué un barco flota, saber el agua que le puede caber (V) a una presa, etc, etc.

Hemos estudiado el movimiento de los objetos, hemos medido posiciones desde la trayectoria, hemos caracterizado un movimiento, lo hemos explicado. Hemos calculado muchas magnitudes: Velocidad, Tiempo, posición. Hemos aprendido el M.U., M.U.A., a explicar el valor de la aceleración sobre la trayectoria. A representar posición-tiempo a través de la gráfica. Hemos hecho ininidad de ejercicios y hemos aprendido a estudiar las ecuaciones del M.U., Hemos aprendido a calcular problemas mediante la estrategia, conclusiones y desarrollo de lo realizado. Hemos escrito las ecuaciones tomando el origen de posiciones. Hemos dado los vectores, estrategias de resoluciones, movimientos circulares, rectilíneos... y presiones ejercidas por fluidos.

Ejemplos de resúmenes realizados por alumnos a partir de un esquema, pautas facilitado por nosotros



Recapitulación

Planteamiento del problema

¿Qué problema hemos planteado al inicio del tema o del apartado?
¿Por qué es interesante tratar ese problema?



¿Existen restricciones en la cantidad de los cambios que ocurren? ¿Podemos conseguir todos los cambios posibles?
¿Qué tipo de fallo para que ocurran cambios en un sistema?
¿Pueden ocurrir cambios en cualquier dirección (sentido)?

Estrategia de resolución

¿Qué estrategia hemos seguido para resolverlo?, es decir, ¿qué hemos hecho para resolverlo?



- Traducción de la idea cualitativa de energía como capacidad para producir cambios
- Definición del concepto de trabajo mecánico
- Traducción de la hipótesis $W_{f.ort} = \Delta E_{interna}$

Conclusiones

¿Qué cosas (conceptos, procedimientos, ...) he aprendido?



Se ... • Calcular $W_{fuera} / W_{tot} = \sum W_{fi}$
• Calcular $E_{cinética}$ y $E_{p}^{eléctrica}$
• Relacionar cambios en $W_{con} E_{ca}$
Se hacer ... energía (ΔE) del sistema
• Determinar la potencia necesaria para desarmar
(Tengo dudas sobre ^{el motor o una persona} Resolver problemas por un método más sencillo que el energético/dinámico
No se ... } interacción en los que hay variación de
No se hacer... } $t =$

Problemas abiertos

¿Qué pregunta han surgido al final del apartado o tema?
¿De los problemas planteados al principio, que hemos resuelto y que queda por resolver?



- ¿Es posible calcular el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento?
- ¿Puede variar la energía de un sistema por otros métodos que no sea la realización de trabajo?

Recapitulación

¿Cuál es el problema planteado al inicio del tema?

- Preguntas relacionadas con los cambios de un sistema
- ¿Existen límites a los cambios? ¿Qué cambios son posibles?
- ¿Hay relación entre los distintos cambios?
- ¿Qué hace falta para que se produzcan cambios?

¿Qué estrategia hemos seguido para avanzar en su solución? ¿Qué hemos hecho? ¿Qué hemos aprendido?

- Hemos introducido nuevos conceptos: trabajo, energía, definición de sistema.
- Hemos hecho la hipótesis de que $W_{ext} = \Delta E$.
- Hemos estudiado el caso de un sistema aislado $\Rightarrow \Delta E = 0$ que nos lleva al P.C.E.H.
- Todo esto aplicado a sistemas de interés nos ha llevado a conocer los límites.
- Nos ha surgido un problema con la FROZ. No podemos aplicar la hipótesis inicial de $W_{ext} = \Delta E$ ya que el cálculo W_{FROZ} es muy complicado. Hemos recurrido al 2º tipo de la Dinámica que no ha solucionado el problema con el Teorema de la F. Viva.

¿Qué preguntas o interrogantes nos han surgido al final del tema?

- ¿Puedo variar la energía de un sistema sin el trabajo?
- ¿Qué ocurre con los cambios no mecánicos?
- La variación de energía ¿produce sólo cambios mecánicos?
- ¿Cómo se relacionan las propiedades mecánicas y no mecánicas en los cambios?
- ¿Cómo puedo medir el calor? (\leftarrow FROZ)

Recapitulación

¿Cuál es el problema planteado al inicio del tema?

- ¿Qué cambios puede experimentar un sistema?
- ¿Existen límites para esos cambios?
- ¿Podemos producir los cambios? ¿Cómo?

¿Qué estrategia hemos seguido para avanzar en su solución? ¿Qué hemos hecho? ¿Qué hemos aprendido?

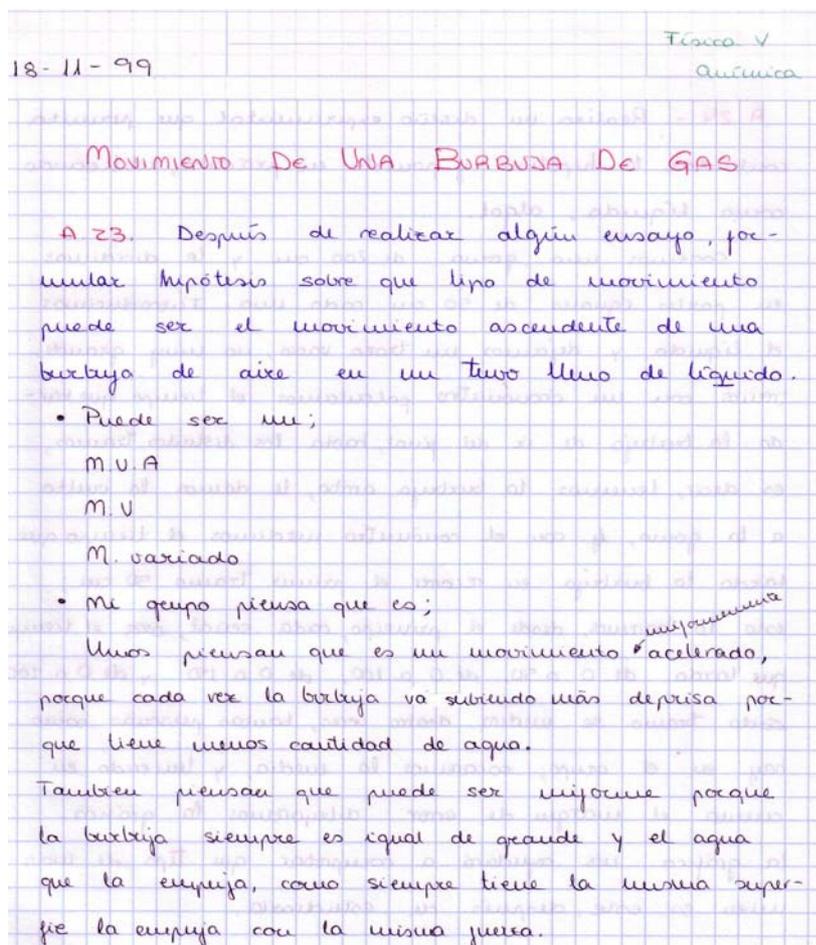
- Hemos planteado la hipótesis de que $W_{roz} = \Delta E$, que aplicada a un sistema aislado nos conduce al PCFM.
- Importancia de la elección adecuada del sistema físico a estudio.
- Problemas con el cálculo del W_{roz} aplicando consideraciones energéticas ya que resulta difícil cuantificar ΔU . La F_{roz} podemos calcularla a partir del teorema de las fuerzas vivas deducido por consideraciones puramente dinámicas.

¿Qué preguntas o interrogantes nos han surgido al final del tema?

- ¿Existen otras formas de variar la energía de un sistema?
- ¿Podemos provocar cambios no mecánicos?
- ¿Cómo relacionamos las propiedades mecánicas de un sistema con sus propiedades no mecánicas?

Otro tipo de producción de los alumnos son los trabajos prácticos como pequeñas investigaciones y la resolución de problemas de lápiz y papel como pequeñas investigaciones.

Aquí presentamos alguna de las producciones de los alumnos, que entregan para corregir, como por ejemplo el informe de un trabajo práctico.



ANEXO II

Ejemplos de valoraciones de cuestionarios abiertos

A continuación mostramos algunos ejemplos de valoración de cuestionarios abiertos.

Tratamos de ser fieles a lo que los alumnos escriben, salvo cuando los alumnos cometan falta de ortografía, en cuyo caso lo pondremos correctamente en nuestro texto.

1. Valoración de las respuestas del cuestionario C1 (en mitad de un tema)

- Indica el nombre del tema que estás "dando" actualmente en Física y Química.
- Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema. (O, RR)
- Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase. (O, I/M)
- ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (O)

Respuesta a la cuestión b: Escribe algunas ideas que hayas comprendido bien hasta este momento del tema (O, RR).

Ejemplo 1

que dos cargas de un mismo signo se repelen y de signo diferente se atraen. Ejercen una fuerza al atraerse y repelerse.
Que frotando un objeto sobre lana se cambia el signo ya frotado.
La fórmula esta $F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$ es para solucionar problemas. $K = 9 \cdot 10^9$ para calcular la fuerza \rightarrow detrás

"que dos cargas de un mismo signo se repelen y de signo diferente se atraen (1). Ejercen una fuerza al atraerse y repelerse (2). Que frotando un objeto sobre lana se cambia el signo ya frotado (3) La fórmula esta es para solucionar problemas, $F = K q_1 q_2 / d^2$, es para calcular la fuerza $K = 9 \cdot 10^9$ (4) Dibujo (5)

Valoración: (1), (2), (4) recuerdo relevante (aunque de no podemos afirmar que sea significativo) (3) y (5) recuerdo relevante de aplicación de conocimientos

Ejemplo 2

- * Todos los materiales se pueden electrizar.
- * Algunos cuestan más que otros por eso utilizamos diferentes métodos. (Frotamiento inducción y contacto).
- * Hay algunos materiales aislantes, como la madera y la goma.

Todos los materiales se pueden electrizar (1) Algunos cuestan más que otros por eso utilizamos diferentes métodos (frotamiento, inducción y contacto). (2) Hay algunos materiales aislantes, como la madera y la goma (3)

Valoración: (1) y (2) muestra orientación y recuerdo relevante. (3) puede ser considerado como recuerdo puntual.

Ejemplo 3

Los estados de la materia, lo que son compuestos y sustancias simples, la masa relativa

Los estados de la materia (1), lo que son compuestos y sustancias simples (2), la masa relativa (3)

Valoración abierta: 3 conceptos puntuales, sueltos, sin relación entre ellos, no muestra recuerdo relevante ni orientación.

Ejemplo 4

- Los fluidos ejercen fuerzas en todas direcciones.
- En caso de que sean fluidos llamamos "fuerza empuje", a la que resta a lo del peso.
- El empuje depende de la densidad del líquido por el volumen por la gravedad.
- La presión solo depende de la profundidad, a mayor profundidad mayor presión.
- A mayor superficie mayor fuerza, y a menor superficie menor fuerza.

Los fluidos ejercen fuerzas en todas direcciones (1), En caso de que sean fluidos llamamos "fuerza empuje", a la que resta a lo del peso (2). El empuje solo depende de la profundidad, a mayor profundidad mayor presión (3). A mayor superficie mayor fuerza, y a menor superficie menor fuerza (4)

Valoración: (1), (3) y (4) mostrarían un recuerdo relevante. (2) No es significativa.

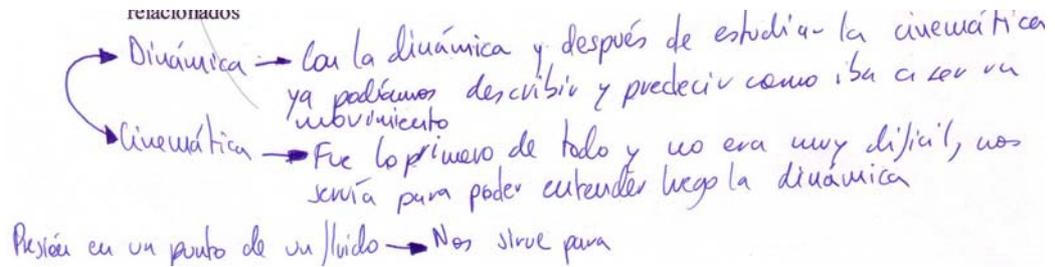
Ejemplo 5

La clase de energía que tiene un cuerpo al caer, o un cuerpo que se mueve en forma horizontal. Como calcular la energía que hace un cuerpo al empujar a otro, etc.

La clase de energía que tiene un cuerpo al caer o un cuerpo que se mueve en forma horizontal (1) como calcular la energía que hace un cuerpo al empujar a otro, etc.(2)

Valoración: dos frases que muestran confusión de conceptos.

Ejemplo 6



Cinemática: fue el primero de todo y no era difícil (1), nos servía para poder entender luego la dinámica (2) Dinámica: con la dinámica y después de estudiar la cinemática ya podíamos describir y predecir como iba a ser un movimiento (3) Presión en un punto de un fluido: nos sirve para (4)

Valoración: (1) y (2) orientación, (3) recuerdo relevante (4) otras categorías

Respuesta a la cuestión c: Expresa qué interés puede tener lo que estás tratando en clase. (O, I/M)

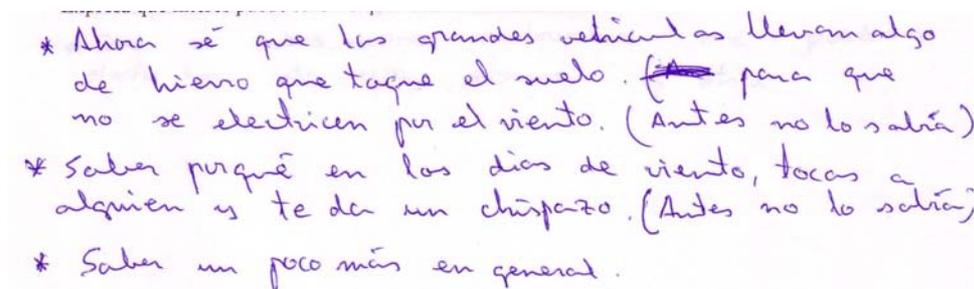
Ejemplo 1

Para mi no tiene interes

Para mi notiene interes (1)

Valoración: actitud claramente negativa

Ejemplo 2

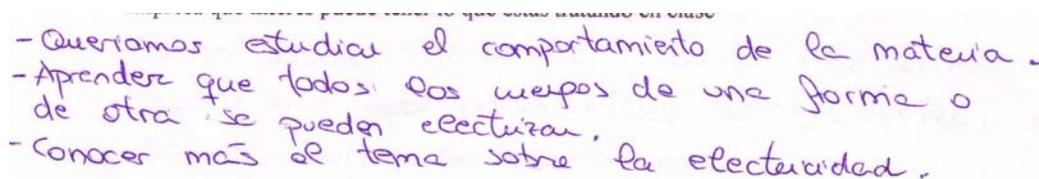


* Ahora sé que los grandes vehículos llevan algo de hierro que toque el suelo. ~~para~~ para que no se electricen por el viento. (Antes no lo sabía)
* Saber porqué en los días de viento, tocas a alguien y te da un chispazo. (Antes no lo sabía)
* Saber un poco más en general.

Ahora sé que los grandes vehículos llevan algo de hierro que toque el suelo (para que no se electricen por el viento (antes no lo sabía) (1). Saber porqué en los días de viento tocas a alguien y te da un chispazo (antes no lo sabía) (2) saber un poco más en general (3)

Valoración: (1) y (2) se pueden considerar indicadores de implicación/motivación. (3) otras categoría.

Ejemplo 3



- Queríamos estudiar el comportamiento de la materia.
- Aprender que todos los cuerpos de una forma o de otra se pueden electricizar.
- Conocer más el tema sobre la electricidad.

Queríamos estudiar el comportamiento de la materia (1) aprender que todos los cuerpos de una forma o de otra se pueden electricizar (2). Conocer más el tema sobre la electricidad (3)

Valoración: (1) orientación, (2) y (3) implicación/motivación.

Respuesta a la cuestión d) ¿Qué se trata de averiguar en este tema? (0)

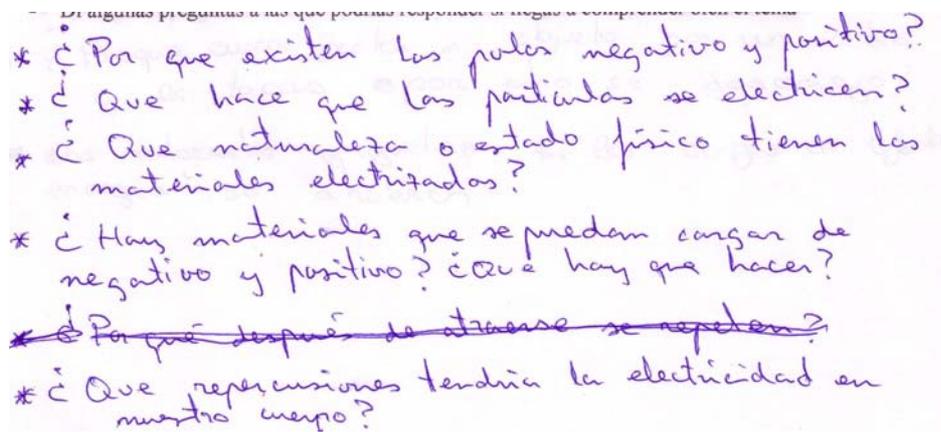
Ejemplo 1

n de moles, n de átomos, x de átomos en
un compuesto, etc. ...

El n° de moles, n° de átomos y de átomos de un compuesto, etc. (1)

Valoración: no podemos considerar que haya orientación, no hay una frase sino conceptos sueltos

Ejemplo 2

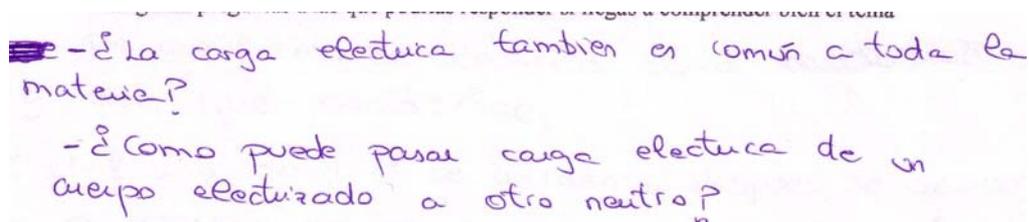


- * ¿Por qué existen los polos negativo y positivo?
- * ¿Qué hace que las partículas se electricen?
- * ¿Qué naturaleza o estado físico tienen los materiales electrificados?
- * ¿Hay materiales que se puedan cargar de negativo y positivo? ¿Qué hay que hacer?
- * ~~¿Por qué después de atravesarse se repelen?~~
- * ¿Qué repercusiones tendría la electricidad en nuestro cuerpo?

¿Por qué existen los polos negativos y positivos? (1) ¿Qué hace que las partículas se electricen? (2) ¿qué naturaleza o estado físico tienen los materiales electrificados? (3) ¿hay materiales que se puedan cargar de negativo y positivo? ¿Qué hay que hacer? (4) ¿Qué repercusiones tendría la electricidad en nuestro cuerpo? (5)

Valoración: 5 frases-ideas que muestran orientación a mitad de un tema

Ejemplo 3



- ¿La carga eléctrica también es común a toda la materia?
- ¿Cómo puede pasar carga eléctrica de un cuerpo electrificado a otro neutro?

¿La carga eléctrica también es común a toda la materia? (1) ¿Cómo puede pasar carga eléctrica de un cuerpo electrificado a otro neutro? (2)

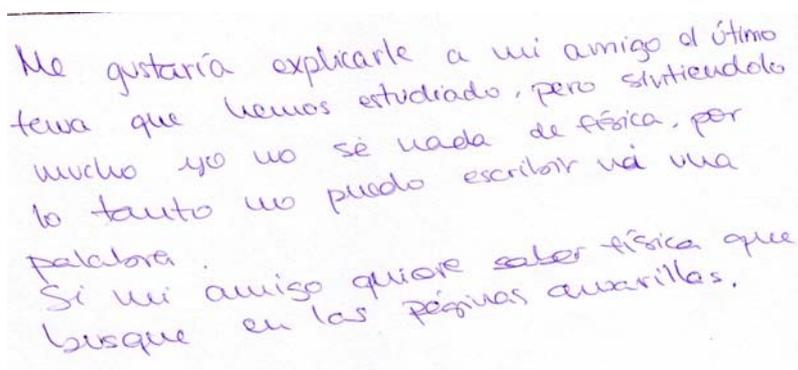
Valoración: 2 ideas que implican orientación.

2. Valoraciones de las respuestas a los cuestionarios C2 y C3

Imagina que tienes que explicarle a un amigo que no ha estudiado Física y Química de qué ha tratado el último tema desarrollado en la clase y convencerle de la importancia e interés que tiene lo que se ha estudiado. Escribe qué le dirías de la manera más ordenada posible.

Una vez acabada la Mecánica te pedimos que realices un resumen de las ideas más importantes que has aprendido en dicho estudio. No te pedimos fórmulas, ni ecuaciones, ni definiciones, sino que escribas frases sobre aspectos de interés que se han tratado y que has aprendido a lo largo del curso

Ejemplo 1

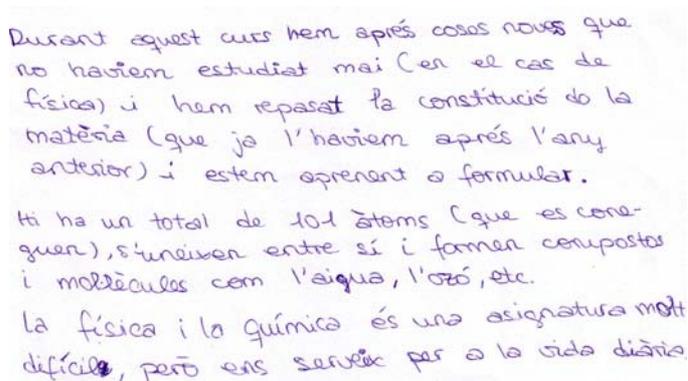


Me gustaría explicarle a mi amigo el último tema que hemos estudiado, pero sintiéndolo mucho yo no sé nada de física, por lo tanto no puedo escribir ni una palabra. Si mi amigo quiere saber física que busque en las páginas amarillas.

Me gustaría explicarle a mi amigo el último tema que hemos estudiado, pero sintiéndolo mucho yo no sé nada de física, por lo tanto no puedo escribir ni una palabra (1) Si mi amigo quiere saber física que busque en las páginas amarillas (2)

Valoración: 2 ideas, que denotan claramente una clara desorientación y una actitud claramente negativa

Ejemplo 2



Durant aquest curs hem après coses noves que no havíem estudiat mai (en el cas de física) i hem repassat la constitució de la matèria (que ja l'havíem après l'any anterior) i estem aprenent a formular. Hi ha un total de 101 àtoms (que es coneixen), s'uneixen entre si i formen compostos i molècules com l'aigua, l'ozó, etc. La física i la química és una assignatura molt difícil, però ens serveix per a la vida diària.

Durant aquest curs hem après coses noves que no havíem estudiat mai (en el cas de física) (1) i hem repassat la constitució de la matèria (que ja l'havíem après l'any anterior) i estem aprenent a formular (2). Hi ha un total de 101 àtoms (que es coneixen), s'uneixen entre si i formen compostos i molècules

com l'aigua, l'ozó , etc. (3) La física i la química és una assignatura molt difícil, però ens serveix per a la vida diària (4)

Valoración: (1) no entra en ninguna valoración, (2) y (3) recuerdo relevante, (4) actitud que interpretamos neutra.

Ejemplo nº 3

Gracias por tu colaboración.

La matèria està constituïda per àtoms indivisibles. Hi ha àtoms de diferents formes, depenent dels protons, neutrons i electrons que continguem. els protons (p^+) són carregues positives situades al nucli, els electrons (e^-) són carregues negatives situades al voltant del nucli (per fora d'ell) i els neutrons (n^0) són carregues neutres situades al nucli. Els electrons constitueixen tota la matèria i es important estudiar-los per a saber de que estem formats nosaltres i tota la matèria. És algo difícil de comprendre (la formulació i nomenclatura), però si no ho intentes no ho entendràs mai.

La matèria està constituïda per àtoms indivisibles (1). Hi ha àtoms de diferents formes, depenent dels protons, neutrons i electrons que continguem els protons (p^+) són carregues negatives situades al voltant del nucli (per fora d'ell) i els neutrons (n^0) són carregues neutres situades al nucli (2). Els electrons constitueixen tota la matèria (3) i es important estudiar-los per a saber de que estem formats nosaltres i tota la matèria (4). És algo difícil de comprendre (la formulació i nomenclatura), però si no ho intentes no ho entendràs mai (5).

Valoración: (1), (2) y (3) recuerdo relevante, (4) implicación/motivación (5) actitud que podemos considerar positiva

Ejemplo nº 4

La Física i la Química, pense que són assignatures molt difícils perquè són coses molt complicades i difícils de comprendre. En l'últim tema hem donat formulacions i nomenclatura i, personalment, no ho he entès massa bé. Són assignatures molt interessants perquè no sabia tots els invents i els descobriments de la Física o la Química i pense que són matèries molt importants en la vida.

La Física i la Química, pense que són assignatures molt difícils perquè són coses molt complicades i difícils de comprendre (1). En l'últim tema hem donat formulacions i nomenclatures molt interessants (2) perquè no sabia tots els invents i els descobriments de la Física o la Química (3) i pense que són matèries molt importants en la vida. (4)

Valoración: (1), (3) y (4) solo indicarían una actitud positiva, (2), un recuerdo puntual

Ejemplo 5

Le explicaría que hay varios tipos de movimientos dependiendo de las fuerzas que actúan sobre él, como por ejemplo, existe el M.R.U.A. con \bar{v} aumentando o con \bar{v} disminuyendo; el M.C.U. (movimiento circular uniforme).

En una superficie con rozamiento actúan distintas fuerzas sobre un cuerpo y en una superficie sin rozamiento actúan menos fuerzas.

Le explicaría también las 2 leyes de la Dinámica y la ley de Gravitación Universal.

Le explicaría que hay varios tipos de movimientos dependiendo de las fuerzas que actúan sobre él (1), como por ejemplo, existe el m.r.u.a. con v aumentando o con v disminuyendo, el m.c.u. (movimiento circular uniforme) (2) En una superficie con rozamiento actúan distintas fuerzas sobre un cuerpo y en una superficie sin rozamiento actúan menos fuerzas (3). Le explicaría también las 2 leyes de la Dinámica y la ley de Gravitación Universal (4)

Valoración: recuerdo relevante (1), (2), y (3) de ideas fundamentales. (4) podría ser un recuerdo repetitivo.

3. Valoración de las respuestas al cuestionario C4

Respuesta a la cuestión a) Escribe algunas frases sobre qué interés ha tenido dicho estudio, qué se pretendía conseguir con él (O)

Ejemplo nº 1

Perseguíamos el saber, por ejemplo, de porqué la Luna no cae, por que un movimiento es uniforme y no acelerado, o viceversa, por que un movimiento es rectilíneo o ~~curvilíneo~~ curvilíneo y también no hay que olvidar que queríamos aprender las fuerzas que ejercen los fluidos y las que ejercemos nosotros sobre los cuerpos.

Perseguíamos el saber, por ejemplo, de porqué la Luna no cae (1), por que un movimiento es uniforme y no acelerado, o viceversa, (2), por que un movimiento es rectilíneo o curvilíneo (3) y también no hay que olvidar que queríamos aprender las fuerzas que ejercen los fluidos (4) y las que ejercemos nosotros sobre los cuerpos (5)

Valoración: (1) (2) y (3), orientación y recuerdo relevante, (4) y (5) recuerdo relevante de aplicación práctica

Ejemplo nº 2

Los estados de la materia, lo que son compuestos y sustancias simples, la masa relativa

Los estados de la materia, lo que son compuestos y sustancias simples, la masa relativa (1)

Valoración: (1) recuerdo puntual, recuerdo de conceptos sin definirlos ni relacionarlos.

Ejemplo nº 3

De fuerza, ver como se ejercían éstas, que producían como se producían

De fuerza ver como se ejercían estas, que producían como se producían (1)

Valoración: (1) recuerdo puntual, recuerdo de conceptos sin definirlos ni relacionarlos.

Ejemplo nº 4

en este curso pretendíamos conseguir caracterizar movimientos y en cierto modo poder predecir como serían en un futuro cercano (si hablamos de movimientos simples) o en un futuro más lejano (si hablamos de movimientos planetarios) dichos movimientos.

7.º en cuanto al interés es importante decir que en esta asignatura es elevada ya que nos resuelve preguntas tan complejas como la de porque no cae la luna y otras más útiles como la construcción de un barco o la de una presa.

En este curso pretendimos conseguir caracterizar movimientos (1) y en cierto modo poder predecir como serían en un futuro cercano (si hablamos de movimientos simples) o en un futuro más lejano (si hablamos de movimientos planetarios) dichos movimientos (2) en cuanto al interés es importante decir que en esta asignatura es elevada ya que nos resuelve preguntas tan complejas como la de porque no cae la Luna (3) y otras más útiles como la construcción de un barco o la de una presa (4).

Valoración: (1), (2), (3) y (4) muestran orientación (1) y (2) recuerdo relevante

Ejemplo nº 5

Con el estudio de la mecánica, en los aspectos que englobaba (cinemática y dinámica) el objetivo que se consideraba era llegar a saber o, al menos, poder estudiar el movimiento de los objetos, su trayectoria, poder predecirla, y así conocerlo mejor. Además, con estudios prácticos (como el tiro horizontal), se conseguía un aprendizaje más claro del problema. En otros casos, con la solución de ecuaciones ~~de~~ cinemáticas se sacaban resultados que luego se podían interpretar en relación al tema que se estudia.

Con el estudio de la mecánica en los aspectos que englobaba (cinemática y dinámica) el objetivo que se consideraba era llegar a saber o, al menos, poder estudiar el movimiento de los objetos (1), su trayectoria poder predecirla (2), y así conocerlo mejor. Además con estudios prácticos (como el tiro horizontal) se conseguía un aprendizaje más claro del problema (3). En otros casos con la solución de ecuaciones cinemáticas (4), se sacaban resultados que luego se interpretan en relación al tema que se estudia (5).

Valoración: Muestra orientación al saber los temas que ha estudiado y el objetivo de los mismos (1) y algunas de sus aplicaciones como predecir la trayectoria de un móvil (2), los trabajos prácticos (3), las ecuaciones (4) y la interpretación de resultados (5)

Respuesta a la cuestión b) Este curso se ha dividido en varios temas, di qué trataba cada uno de ellos y cómo estaban relacionados (0)

Ejemplo nº 1

- Dinámica el tema de las fuerzas.
- 1º tema: determinar la posición de un objeto y su movimiento
- Vectores
- Fluidos: el movimiento dentro de los fluidos.

Dinámica el tema de las fuerzas (1), 1º tema determinar la posición de un objeto y su movimiento (2), vectores Fluidos el movimiento dentro de los fluidos (3)

Valoración: (1) y (3) No muestra orientación, recuerdo puntual, no podemos ni considerar que sea una frase-idea, (2) una idea que podríamos considerar orientación

Ejemplo nº 2

[Ahora sé porqué los astros no caen y algunos llevan su ~~su~~ órbita fija; porqué cuando se lanza un satélite tampoco cae; porqué los objetos se paran sin que nadie los toque, etc.]

Ahora sé porqué los astros no caen (1) y algunos llevan su órbita fija (2); porqué cuando se lanza un satélite tampoco se cae (3); porqué los objetos se paran sin que nadie los toque (4), etc.

Valoración: Muestra implicación/motivación, ya que comprende algunos de los aspectos importantes trabajados en los distintos temas

Ejemplo nº 3

Sobre las cargas eléctricas positivas y negativas, como están en los materiales, átomos y moléculas etc

Sobre las cargas eléctricas positivas y negativas (1), como están en los materiales, átomos y moléculas (2)

Valoración: (1) y (2) No muestra orientación, en todo caso podemos decir que muestra un recuerdo puntual.

Ejemplo nº 4

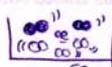
La ley de los gases, las propiedades de los gases
~~el modelo~~ atómico-molecular...

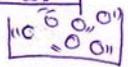
▷ La ley de los gases y las propiedades de los gases.

- Partículas en movimiento con huecos entre ellas.
- Los gases se pueden comprimir.
- Se mezclan, algunos se pueden ver.
- Se difunden - se pueden colorear.

(Sigo detrás)

¿? El modelo atómico molecular

mezcla + juntar diferentes sustancias. 

Sustancia simple + solo hay un tipo de sustancia. 

Sustancia compuesta + hay varias sustancias que forman una única molécula. 

Disolución + juntar diferentes sustancias (mezcla homogénea).

→ Las sustancias simple y la compuesta tienen propiedades únicas. La mezcla no tiene propiedades únicas.

→ La molécula es la unión de dos o más átomos.

→ Reacción química → es cuando aparecen nuevas sustancias que antes no teníamos.

Ejemplo + Quemar papel
→ Oxidación del hierro...

La ley de los gases, las propiedades de los gases (1) Partículas en movimiento con huecos entre ellas (3). Los gases se pueden comprimir Se mezclan, algunos se pueden ver, se difunden, se pueden colorear (4). El modelo atómico-molecular (2) mezcla, juntar diferentes sustancias (5)+ dibujo, sustancia simple, solo hay un tipo de sustancia + dibujo (6); sustancia compuesta, varias sustancias que forman una única molécula + dibujo (7). Disolución: juntas diferentes sustancias (mezcla homogénea) (8) Las sustancias simples y la compuesta tienen propiedades únicas. La mezcla no tiene propiedades únicas (9). La molécula es la unión de dos o más átomos (10) reacción química es cuando aparecen nuevas sustancias que antes no teníamos (11) ejemplo: quemar papel, oxidación del hierro (12)

Valoración: 10 frases-ideas que muestra orientación al establecer los aspectos más importantes de lo estudiado y un recuerdo relevante clarificando conceptos con dibujos o ejemplos.

Respuesta a la cuestión c) ¿A qué preguntas podrías responder ahora que no sabías al principio?. ¿Qué avances consideras que has realizado, es decir, qué cosas importantes has aprendido en esta asignatura durante el curso? (I/M)

Ejemplo nº 1

asignatura de Física durante el curso?
He aprendido mucho, y yo creía que iba a ser imposible de que aprendiera todo eso ya que el año pasado suspendí la asignatura. He aprendido todo lo importante de cada tema, como puede ser porque un movimiento es de un tipo o de otro, porque la luna no cae y para que se puede utilizar la fuerza ejercida por los fluidos.

He aprendido mucho, y yo creía que iba a ser imposible de que aprendiera todo eso ya que el año pasado suspendí la asignatura (1). He aprendido todo lo importante de cada tema (2), como puede ser porque un movimiento es de un tipo o de otro (3), porque la luna no cae (4) y para que se puede utilizar la fuerza ejercida por los fluidos (5).

Valoración: (1) y (2) muestra implicación/motivación, (3), (4) y (5) orientación y recuerdo relevante.

Ejemplo nº 2

Todo lo respectivo a la mecánica, ya que antes de empezar este curso no tenía la menor idea sobre mecánica.

Todo lo respectivo a la mecánica (1), ya que antes de empezar este curso no tenía la menor idea sobre mecánica (2)

Valoración: (1) y (2) no muestra implicación/motivación ni orientación ni recuerdo relevante

Ejemplo nº 3

importantes has aprendido en esta asignatura durante el curso? he aprendido y he resuelto el problema de los cuerpos en órbita y el aguante que pueden tener muchos recipientes al llenarlos de líquido

He aprendido y he respondido al problema de los cuerpos en órbita (1) y el aguante que puede tener muchos recipientes al llenarlos de líquido (2)

Valoración. (1) y (2) se pueden considerar implicación/ motivación (he aprendido...)

Ejemplo nº 4

- ¿Cómo caracterizar los movimientos?
Los movimientos se mueven con v que es cte , siempre que no haya una a que la varíe.

- ¿Podemos predecir los movimientos?
Gracias a las ecuaciones del movimiento podemos predecir como era o será un mov. después de un cierto tiempo.

- ¿Un cuerpo puede acelerarse a sí mismo?
No debe de haber una fuerza que le produzca una a .

- ¿Qué fuerza hay entre los cuerpos?
Entre los cuerpos hay la misma fuerza pero en sentido contrario.

- ¿Por qué no cae la Luna?
Porque lleva una v muy grande una a hacia el centro que hace que describa un m.c.u.

¿Cómo caracterizar los movimientos? (1) Los movimientos se mueven con v que es cte , siempre que no haya una a que la varíe (2). ¿Podemos predecir los movimientos? (3) Gracias a las ecuaciones del movimiento podemos predecir como era o será un movimiento después de un cierto tiempo (4) ¿Un cuerpo puede acelerarse a sí mismo? (5) No debe de haber una fuerza que le produzca una a (6) ¿Qué fuerza hay entre los cuerpos? (7) Entre los cuerpos hay la misma fuerza pero en sentido contrario (8) ¿Por qué no cae la Luna? (9) Porque lleva una v muy grande una a hacia el centro que hace que describa un m.c.u. (10)

Valoración: 10 frases que indican implicación/motivación y recuerdo relevante

Ejemplo nº 5

He aprendido a diferenciar movimientos curvilíneos de rectilíneos, sumar y restar vectores, hallar las fuerzas resultantes... En realidad lo que hemos hecho es aplicarla a cosas cotidianas, cosas que nos pasan todos los días y así quizá lo entendemos mejor, pero me faltaban detalles por comprender y me perdí.

He aprendido a diferenciar movimientos curvilíneos de rectilíneos (1), sumar y restar vectores (2), hallar las fuerzas resultantes (3). En realidad lo que hemos hecho es aplicarla cosas cotidianas que nos pasan todos los días (4) y así quizá lo entendemos mejor (5), pero me faltaban detalles por comprender y me perdí (6).

Valoración: (4) y (5) muestra implicación/motivación, (1) y (2) recuerdo relevante y (5) otras categorías

Respuesta a la cuestión d) Centrándonos ahora en el tema, (Dinámica, estructura corpuscular,...) explica brevemente qué aspectos se trataban en ese tema, qué se buscaba conseguir o qué interés tenía tratar esos aspectos (¿por qué o para qué se han tratado?) y lo que has aprendido en la cuestión o asunto que se estudiaba. (RR)

Ejemplo nº 1

tema. En este tema tratamos los movimientos y las fuerzas. Al principio nos planteábamos porque un movimiento era de un tipo o de otro y a qué se debía, y buscábamos la respuesta a este planteamiento. Pues lo conseguimos, o al menos yo lo conseguí, ahora se porque un movimiento es uniforme ($v=cte, a=0$) y porque un movimiento es acelerado ($v \neq cte, a \neq 0$).

En este tema tratamos los movimientos y las fuerzas (1). Al principio nos planteábamos porque un movimiento era de un tipo o de otro y a qué se debía (2), y buscábamos la respuesta a este planteamiento (3). Pues lo conseguimos, o al menos yo lo conseguí, ahora se porque un movimiento es uniforme ($v=cte, a=0$) y porque un movimiento es acelerado ($v \neq cte, a \neq 0$) (4)

Valoración: (1) y (2) y (4) recuerdo relevante, (3) podemos considerarla como orientación.

Ejemplo nº 2

Fluidos: se trata para estudiar el movimiento en los fluidos, y determinar la fuerza que ejercen sobre las paredes de, por ejemplo, una presa o una tubería, y saber si resistirá al líquido

Fluidos: se trata para estudiar el movimiento en los fluidos, y determinar la fuerza que ejercen sobre las paredes de, por ejemplo, una presa o una tubería (1), y saber si resistirá al líquido(2)

Valoración: (1) y (2) muestra recuerdo pero no podemos afirmar que sea relevante

Ejemplo nº 3

- Este tema trataba la fuerza

- En este tema vimos que si la F_{res} es ~~o~~ nula el mov. será un M.U. o en reposo. Si por el contrario, se le ejerce una fuerza será un M.U.A. También vimos el efecto de acción-reacción, que nos decía que si le ejercemos una fuerza a un objeto, este nos la ejerce igual pero en sentido contrario. La cosa más importante que



vimos en este tema, fue el porque no cae la Luna
 "Como lleva una \vec{v} muy grande y una \vec{a} hacia el
 centro, describe un M.C.U.
 En este tema aprendimos que ~~dos~~ entre dos
 cuerpos cualesquiera hay una fuerza de
 atracción, que es la misma pero que en sentido
 contrario.

Este tema trataba la fuerza (1). En este tema vimos que si la F_{res} es nula el mov. será un m.u. o en reposo (2). Si por el contrario, se le ejerce una fuerza será un m.u.a. (3) También vimos el efecto de acción-reacción, que nos decía que si le ejercemos una fuerza a un objeto, este nos la ejerce igual pero en sentido contrario (4). La cosa más importante que vimos en este tema, fue el porque no cae la Luna (5) "como lleva una \vec{v} muy grande y una \vec{a} hacia el centro, describe un M.C.U. (6). En este tema aprendimos que entre dos cuerpos cualesquiera hay una fuerza de atracción, que es la misma pero que en sentido contrario (7) Dibujo (8)

Valoración: 7 frases-ideas y 1 dibujo, que junto al texto, muestra recuerdo relevante.

Ejemplo nº 4

* Los aspectos que se tratan en el tema de la dinámica son las fuerzas y algunos tipos de fuerzas como el peso, la fuerza del rozamiento, ...; este aspecto lo introducimos para saber como cambia la velocidad y así poder saber por qué cambian los móviles de por ejemplo llevar una trayectoria rectilínea con un M.U.A a realizar una trayectoria curvilínea; o para saber por qué un movimiento sigue un M.U. ~~o está~~ o está parado o por el contrario sigue un M.U.A.

Los aspectos que se tratan en el tema de la dinámica son las fuerzas y algunos tipos de fuerzas como el peso, la fuerza de rozamiento, (1) ..., este aspecto lo introducimos para saber como cambia la velocidad (2) y así poder saber por qué cambian los móviles (3) de por ejemplo llevar una trayectoria rectilínea con un m.u.a. a realizar una trayectoria curvilínea (4), o para saber por qué un movimiento sigue un m.u. o está parado o por el contrario sigue un m.u.a. (5)

Valoración: 5 frases ideas de recuerdo relevante.

4. Valoración de la justificación de la valoración sobre norma en el cuestionario C8

a) La forma en que se ha iniciado el curso y cada tema me ha ayudado a comprender el interés de lo que íbamos a estudiar: _____(0)

Justifica brevemente tu valoración, indicando lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender el interés de lo que empezabas a estudiar:

Ejemplo nº 1

dificultado) a comprender el interés de lo que empezabas a estudiar: Porque antes de empezar el tema en serio buscamos el origen de lo que vamos a estudiar, buscamos, el porque las cosas son así, también nos enseñamos la revolución de la Física hasta el punto que vamos a estudiar.

Porque antes de empezar el tema en serio buscamos el origen de lo que vamos a estudiar (1), buscamos el porque las cosas son como son así (2), también nos enseñamos la relación de la Física hasta el punto que vamos a estudiar (3)

Valoración: (1) y (2) muestra orientación, justificación razonable

Ejemplo nº 2

Me ha ayudado a entender el continuo trabajo en clase, y a la hora de pasar los ejercicios a limpio comprendía cosas que en las clase no había entendido y además de las explicaciones del profesor que explicaba las cosas con ejemplo de situaciones de nuestra sociedad.

Me ha ayudado a entender el continuo trabajo en clase (1) y a la hora de pasar los ejercicios a limpio comprendía cosas que en la clase no había entendido (2) y además de las explicaciones del profesor que explicaba las cosas con ejemplos de situaciones de nuestra sociedad (3)

Valoración: (1) y (2) muestra orientación. Justificación razonable

Ejemplo nº 3

Yo siempre he tenido interés en la Física y Química lo que pasa es que desde un principio no entendido nada y eso me ha hecho que me despistara muchas veces, al ver que no sabía hacer nada bien, lo dejaba pasar.

Yo siempre ha tenido interés en la Física y Química (1) lo que pasa es que desde un principio no entiendo nada y eso me ha hecho que me despistara muchas veces, al ver que no sabía hacer nada bien (2), lo dejaba pasar.

Valoración: (1) y (2) muestra desorientación, justificación razonable

b) Al pasar de un tema a otro (o de un apartado a otro dentro de un tema) he podido comprender por qué se seguía ese orden y no otro: _____ (0)

Justifica brevemente tu valoración, e indica lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender el orden en que se introducían los temas y los apartados de cada tema:

Ejemplo nº 1

Esto creo que se ha hecho muy bien en clase, porque al final y principio de cada tema hablábamos de su relación con el anterior y lo que tenían en común y durante el tema siempre lo relacionábamos con los anteriores.

Esto creo que se ha hecho muy bien (1), porque al final y al principio de cada tema hablábamos de su relación con el anterior (2) y lo que tenían en común y durante el tema siempre se relacionaba con los anteriores

Valoración: (1) indicador de una actitud positiva, (2) muestra orientación. Justificación razonable

Ejemplo nº 2

Porque nos enseñamos como los Físicos y la Física han ~~ido~~ evolucionado por medio de hipótesis para poder formar algunas leyes. Si siempre el primer tema es la introducción del segundo y el primero es donde se introduce los conceptos básicos para el segundo tema.

Porque nos enseñamos como los Físicos y la Física han evolucionado por medio de hipótesis para poder formar algunas leyes (1). Siempre el primer tema es la introducción del segundo y el primero es donde se introduce los conceptos básicos para el segundo tema (2)

Valoración: (1) indica como evoluciona la ciencia que mostraría un recuerdo relevante y orientación, en (2) podríamos considerar que muestra orientación

Ejemplo nº 3

^{tema} Me ha ayudado hacer los resúmenes ya que gracias a esto he observado el porque un tema lo hacíamos antes que otro ya que comparaba los resúmenes y observe que a medida que pasábamos de tema aparecían nuevos conceptos los cuales estaban relacionados con los anteriores

Me ha ayudado hacer los resúmenes (1) ya que gracias a esto he observado el porque un tema lo hacíamos antes que otro (2) ya que compraba los resúmenes y observe que a medida que pasábamos de tema aparecían nuevos conceptos (3) los cuales estaban relacionados con los anteriores (4).

Valoración: (1) Implicación/motivación, (2), (3) y (4) orientación. Justificación razonable.

c) La forma de finalizar cada tema me ha permitido comprender lo que habíamos avanzado en lo que nos proponíamos al principio del mismo: ____ (0)

Justifica brevemente tu valoración, e indica, lo que te puede haber ayudado (o dificultado) a comprender los avances logrados:

Ejemplo nº 1

Bueno, esto también lo hemos trabajado, porque al final de cada tema la profesora nos pedía un resumen individual de todo el temario que ayudaba a entender todo y a comprender todo.

Bien, esto también lo hemos trabajado, porque al final de cada tema la profesora nos pedía un resumen individual de todo el temario (1) que ayudaba a entender todo (2) y a comprender todo (3)

Valoración: (1) recuerda la forma de acabar el tema (2) y (3) considera que la forma de finalizar le ayuda a comprender (actitud positiva) y orientación

Ejemplo nº 2

porque al final de cada tema ^{ya habíamos} respondíamos respondido a todas las preguntas que nos habíamos planteado al inicio del tema.

Porque al final de cada tema hemos respondido a todas las preguntas que habíamos planteado al inicio del tema (1)

Valoración: (1) por la respuesta podemos deducir que el alumno se muestra orientado y tiene sensación de haber aprendido. Justificación razonable.

Ejemplo nº 3

Me ha ayudado los ejercicios que realizábamos al final de cada tema como repaso de toda la unidad ~~esta~~ hecha en clase, ya que me ayudaba a recordar conceptos pasados y además a entender cual era el propósito con el que empezábamos el tema.

Me ha ayudado los ejercicios que realizamos al final de cada tema como repaso de toda la unidad hecha en clase (1), ya que me ayudaba a recordar conceptos pasados (2) y además a entender cual era el propósito con el que empezábamos el tema (3)

Valoración: (1) por la respuesta podemos deducir que el alumno muestra orientación, en el tipo de actividades que se realizan y (2) y (3) muestra implicación/motivación (me ayudaba a ...) Justificación razonable.