

BID T 7047

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES
EXPERIMENTALS

**DIFICULTADES DE APRENDIZAJE SOBRE
LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA
MATERIA EN LA ENSEÑANZA
SECUNDARIA. UNA PROPUESTA
DIDÁCTICA PARA SUPERARLAS**

JUAN HERNÁNDEZ PÉREZ

Director de la tesis:

Carlos J. Furió Más

UMI Number: U607568

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U607568

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC
789 East Eisenhower Parkway
P.O. Box 1346
Ann Arbor, MI 48106-1346

42861 052

EDU D 11762

D 557091

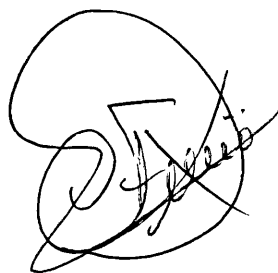
L 557102



CARLOS J. FURIÓ MÁS, Doctor en Ciencias Químicas por la Universitat de València y Catedrático de E.U. del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València.

CERTIFICO que la presente memoria con el título: "Dificultades de aprendizaje sobre la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria. una propuesta didáctica para superarlas" ha sido realizada por Juan Hernández Pérez bajo mi dirección y constituye la tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas.

Para que así conste, y en cumplimiento de la legislación vigente, firmo el presente certificado en Valencia, a veintiocho de Enero de 1997.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Furio Más', enclosed within a large, irregular circular scribble.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo como éste, uno tiene la necesidad de agradecer a muchos compañeros y compañeras el apoyo que han mostrado. Es evidente que no puedo citar a todos a los que estoy agradecido; sin embargo si quiero hacerlo con algunos, con la confianza de que el resto no se sienta molesto y no me considere un desagradecido por ello.

En primer lugar quiero citar a D. Gil, ya que junto con C. Furió fueron los que me invitaron, hace ya veinte años, a formar parte del Seminario de Física y Química del ICE de la Universidad de Valencia. La pertenencia a ese grupo maravilloso de profesionales y amigos fue el que me introdujo el gusanillo de la didáctica y a encontrar en ella una vía para la enseñanza que convierte ésta en una profesión apasionante y nada monótona.

En segundo lugar a M.L. Calatayud, J. Solbes y A. Vilches que supieron entender mi falta de dedicación, en ciertos momentos, a proyectos comunes y lejos de reprochármelo todo era ánimos para poder finalizar este trabajo.

En tercer lugar a J.M. Soler, compañero y amigo que sin su ayuda mis dificultades hubiesen aumentado sensiblemente pues la informática es, guste o no, un elemento cada vez más necesario en el mundo de la comunicación y yo, todavía, estoy casi en la máquina de escribir.

Por supuesto también a la familia Lola, Joan y Daniel que también han sabido entender que un trabajo como éste realizado siempre, además del

trabajo docente, hacía que en muchas ocasiones no pudiésemos realizar algunas acciones que nos hubiese gustado.

Y, por último, a C. Furió. Carles, no sólo ha sido el director de la tesis sino fundamentalmente un amigo y eso es muy importante en un trabajo que ha durado tanto tiempo y nunca ha tenido hacia mí el más mínimo reproche de nada y sí siempre el aliento, la dedicación, la comprensión y el ánimo necesario.

Gracias a todos.

Juan Hernández Pérez

PRESENTACIÓN

La insatisfacción del aprendizaje que se logra en la escuela es una situación muy generalizada entre el profesorado crítico que comprueba como, curso tras curso, se ve obligado a repetir contenidos que se suponían aprendidos anteriormente. Es frecuente escuchar al profesorado de un determinado nivel responsabilizar de la situación a los y las colegas que desarrollan su trabajo en los niveles inferiores al creer que se permite pasar de curso sin haber logrado aprender suficientemente los conocimientos considerados mínimos para abordar con éxito el nivel superior.

Desde nuestra perspectiva este argumento supone un análisis excesivamente simplista ya que muchos profesores y profesoras, al reiterar en un nuevo curso la enseñanza sobre una temática impartida en el anterior, comprueban que la mayoría de las veces supone prácticamente un nuevo estudio habiendo sido ellos mismos o los compañeros de los seminarios didácticos el profesorado de este alumnado.

Por otra parte, la reiteración en la enseñanza de ciertos conceptos o la comprobación del elevado porcentaje de estudiantes que no son capaces de resolver correctamente problemas con enunciados "poco familiares" son, en nuestra opinión, otros síntomas de la ineficacia del proceso de enseñanza-aprendizaje, a pesar de que, al ser un hecho tan general, ha llegado a considerarse por una gran mayoría del profesorado como una situación "normal" (Gil,1991).

Por ello no es de extrañar que ciertos conceptos y principios de Química como mezcla, elemento, compuesto, leyes ponderales, etc. se encuentren presentes en la mayor parte de libros de texto en los que se estudia esta materia, desde 8º de EGB hasta, incluso, los utilizados en el primer curso universitario.

Coherente con este panorama educativo son las respuestas que el profesorado cita ante la pregunta de cuáles considera que, según su opinión, son las causas principales que justifican el bajo rendimiento del alumnado en el proceso de aprendizaje.

Para la mayoría, estas causas se atribuyen a determinados factores o variables externas a la propia enseñanza, donde unas veces se acude a ciertos determinismos sociológicos o biológico del alumnado como p.e. su ambiente socio-económico, su capacidad intelectual, etc (Furió. 1992). Otras veces se alude a condicionamientos estructurales referidos a la organización escolar, como p.e. el excesivo número de alumnos y alumnas por aula, las deficiencias en las instalaciones, los escasos recursos de apoyo disponibles en los centros, etc.

Es decir, la mayoría del profesorado no considera la inadecuación didáctica de las metodologías de enseñanza empleadas como una de las causas esenciales de la ineficacia del aprendizaje. Las argumentaciones en las que se basan radican, fundamentalmente, en la constatación de que en la misma clase y con el mismo profesor o profesora, siempre hay, al menos, unos pocos estudiantes que aprenden.

Nosotros consideramos que, desde el punto de vista didáctico, la variable relativa a la utilización o no de metodologías adecuadas (no en abstracto sino estrechamente ligadas al contenido científico que se quiere enseñar) es uno de los factores de mayor incidencia en el rendimiento del aprendizaje del alumnado.

En este sentido, debemos decir que aún admitiendo la existencia de una gran diversidad metodológica utilizadas por el profesorado en sus clases, es posible extraer, mediante el análisis didáctico, un conjunto de caracteres básicos de estos métodos que nos permiten ubicarlos en corrientes paradigmáticas en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias (Gil, 1983)

Sin lugar a dudas, el paradigma más utilizado por el profesorado de ciencias es el conocido como de transmisión-recepción de conocimientos ya

construidos donde, en general, se considera la mente del estudiante como "una tábula rasa" en la que pueden depositarse verbalmente conocimientos previamente elaborados y bien organizados en paquetes informativos. Según este paradigma aprender consiste en asimilar los conocimientos científicos tal y como la Ciencia los tiene hoy formulados y enseñar consiste en su exposición oral en forma clara y ordenada.

Para nosotros el uso de metodologías que puedan ser incluidas en el paradigma mencionado es causa esencial de que no se produzcan las condiciones necesarias para lograr un mejor aprendizaje significativo y, al mismo tiempo, conseguir en los estudiantes una actitud positiva hacia la Ciencia y su aprendizaje.

Precisamente la constatación, a partir de la investigación didáctica, de la inexistencia de este aprendizaje significativo en dominios concretos de la Química es lo que nos servirá para plantear el problema que en esta tesis vamos a estudiar.

Se entiende por aprendizaje significativo la aplicación correcta de conocimientos y destrezas procedimentales, a diferentes situaciones, y no la reproducción memorística de los conocimientos científicos. Al propio tiempo, conviene explicitar que aprender mejor no sólo tiene significado de avance cognitivo del alumno sino que también debe asignársele un contenido afectivo. Es decir, aprender mejor implica hacerlo más satisfactoriamente y con mayor interés hacia la temática aprendida (Bell y Pearson, 1991). Este nuevo concepto de aprendizaje modifica, lógicamente, las bases en las que se fundamentan los posibles modelos metodológicos de enseñanza que deben ser aplicados en el aula.

Ahora bien, el problema que estamos abordando tiene como marco general la aplicación de un modelo constructivista de aprendizaje por investigación cuya aplicación concreta necesita ser delimitada. Nosotros lo hemos realizado al seleccionar el tema de la naturaleza corpuscular de la materia, tema básico, en el

estudio de la Química, sin cuyo correcto entendimiento no es posible construir de manera comprensiva este edificio teórico.

Varios son los hechos que confirman la importancia que el aprendizaje significativo de la naturaleza corpuscular de la materia tiene para lograr un aprendizaje comprensivo de la Química. Así:

a) Es uno de los primeros soportes en el nacimiento de la Química como Ciencia moderna (Holton y Roller 1963).

b) El concepto de gas, como materia con el mismo status que los sólidos y líquidos, fue históricamente un obstáculo epistemológico que hubo de vencerse durante siglos -el período conocido, por los historiadores de la ciencia, como Química neumática- para poder introducir, las primeras ideas sobre la naturaleza corpuscular de la materia.

c) Desde el punto de vista didáctico, la caracterización material de los gases y su modelización son prerrequisitos sin los cuales no resulta comprensible todo un conjunto de procesos químicos tan importantes como la oxidación de metales, la combustión de materiales fósiles, la fermentación de líquidos azucarados, la respiración animal y vegetal, etc.

La concreción del problema, así como las cuestiones que su solución plantea, constituye el contenido del Capítulo I y dará paso a las dos partes fundamentales que constituye este trabajo. Una relacionada con la crítica sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje actual de la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria y, la otra, dirigida a presentar una alternativa metodológica que incorpore las aportaciones que desde el campo de la psicología y de la epistemología se han realizado a dicho proceso, así como las realizadas por la investigación didáctica referidas a la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia en este nivel educativo.

En consecuencia, la segunda parte, comienza con el capítulo II dirigido a enunciar y fundamentar teóricamente la primera hipótesis, según la cual el

currículum actualmente utilizado por la mayoría del profesorado que enseña la naturaleza corpuscular de la materia en los niveles de la educación secundaria obligatoria es causa de un aprendizaje poco significativo del mismo. A continuación, el capítulo III expondrá los diseños programados para contrastar las diversas consecuencias enunciadas derivadas de la hipótesis, de tal manera que la contrastación de todas ellas, de forma convergente son las que permitirán validarla. Estos diseños irán destinados, unos a mostrar que una mayoría de alumnos y alumnas no han logrado aprender de forma significativa conceptos que en la Historia y la Epistemología de la Ciencia han constituido verdaderos obstáculos epistemológicos; y, otros, a mostrar que el profesorado no es consciente de estas dificultades y, en consecuencia, no aplica metodologías adecuadas que permita, a los estudiantes, aprenderlos de forma significativa. Los resultados de estos diseños, así como el análisis de éstos constituyen el contenido del capítulo IV.

Los diseños programados son de dos tipos, unos dirigidos a verificar la eficacia del aprendizaje y otros a mostrar las características del proceso de enseñanza utilizado por la mayoría del profesorado. La estrategia utilizada para obtener los datos ha sido básicamente la presentación de cuestionarios compuestos por varios items, dirigidos a muestras de alumnos y alumnas que han estudiado o están estudiando la naturaleza corpuscular de la materia en cualquiera de los niveles de la enseñanza secundaria. En alguna ocasión, para mostrar en profundidad la existencia de dificultades se han utilizado muestras correspondientes a estudiantes de magisterio, que pertenecen a la especialidad de Ciencias, y a alumnos del CAP de la especialidad de Física y Química.

La tercera parte estará destinada a enunciar, fundamentar y contrastar la segunda hipótesis, cuyo objetivo esencial es presentar una alternativa fundamentada teóricamente que mejore el aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia. Esto se realizará en base a presentar un modelo de

enseñanza alternativo al convencional, de transmisión-recepción, que tenga en cuenta los resultados actuales de la investigación didáctica. Por tanto se trata de presentar un modelo alternativo al de transmisión-recepción en el que se presente una imagen no distorsionada de la Ciencia y donde el aprendizaje de nuevos conocimientos aparezcan como consecuencia natural de la búsqueda de soluciones a situaciones problemáticas planteadas con el objetivo explícito de familiarizar a los estudiantes con los procesos de construcción de la propia Ciencia. Para nosotros el cambio conceptual y el cambio metodológico (que trata de superar formas de razonamiento precientífico a las que hemos denominado genéricamente metodología de la superficialidad) son objetivos no sólo autónomos sino interdependientes (Gil et al, 1991).

En este sentido, este estudio trata de validar el modelo de enseñanza aprendizaje por investigación considerándolo como hipótesis didáctica cuya contrastación puede ayudar a mejorar la eficacia de los modelos de cambio conceptual y al propio tiempo, integrar los resultados obtenidos por la investigación didáctica en otros dominios como la resolución de problemas (Martínez Torregrosa 1987; Ramírez, 1990; Reyes, 1991) o la realización de trabajos prácticos (Payá, 1991).

En consecuencia, la segunda hipótesis de este trabajo se referirá a la mejora en el aprendizaje que se obtendrá al aplicar en el aula la metodología de enseñanza basada en el aprendizaje por investigación (Furió 1994b). Este modelo de enseñanza se enmarca dentro del marco constructivista y se ha aplicado a un contenido concreto como es el de la naturaleza corpuscular de la materia. El enunciado de esta hipótesis, así como su fundamentación se expondrá en el capítulo V.

La implantación del modelo en el aula ha requerido el diseño y desarrollo de dos unidades didácticas, correspondientes cada una de ellas a los dos ciclos de los que consta la Educación Secundaria Obligatoria. Los materiales didácticos

empleados se han desarrollado en forma de dos programas de actividades según la idea inicial de Furió y Gil (1978) que figuran en los anexos I y II y constituyen los primeros resultados para la contrastación de esta segunda hipótesis. Para elaborarla se ha tenido presente la historia de los acontecimientos que dieron lugar a los conceptos científicos pertenecientes al tema elegido, las ideas previas que sobre estos conceptos tienen los estudiantes en esta edad escolar, las dificultades existente en algunos contenidos del tema estudiado, según la investigación didáctica, y nuestra larga experiencia como docentes en la confección y utilización de programas-guías de actividades.

Los capítulos VI y VII tienen las mismas características que el III y el IV pero aplicado a esta segunda hipótesis. Es decir, se trata de operativizar la hipótesis en base a consecuencias contrastables las cuales nos permiten elaborar diseños que una vez realizados nos aportan unos resultados que son presentados y analizados en el capítulo VII.

Para seleccionar los diseños se ha tenido en cuenta el hecho de que el aprendizaje no sólo debe limitarse a contenidos conceptuales sino que también los procedimientos son importantes así como las actitudes (Furió, 1994a), éstas cobran una mayor importancia al referirnos a una etapa del sistema educativo que es obligatoria para los estudiantes. Los instrumentos, utilizados en la recogida de datos han sido diversos, desde cuestionarios formados por items de respuestas cerradas, hasta otros de carácter abierto, pasando por registros obtenidos de grabaciones tanto en audio como en video. Como el objetivo es mostrar que el aprendizaje se mejora, cuando al alumnado se les aplica estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje por investigación, se ha utilizado principalmente dos grupos que consideramos experimentales y cuyo aprendizaje será el que se compare con el de la muestra de control. Estos dos grupos pertenecen a los dos diferentes niveles educativos a los que están dirigidos los dos programas de actividades.

Por otra parte, con el objetivo de disminuir lo máximo posible el factor profesor y centrarnos más en las estrategias de enseñanza se han tomado resultados de alumnos pertenecientes a un grupo de profesores que participaban en un Proyecto de Innovación -proyecto en el que participaba el investigador de este trabajo- cuya finalidad era comprobar si la aplicación de la enseñanza, a través de programas de actividades basados en el modelo de aprendizaje por investigación, mejoraba éste, al compararlo con el que adquieren los alumnos que reciben enseñanza a través de estrategias basadas en modelos de transmisión verbal. El profesorado del proyecto trabajaba coordinadamente de forma que se utilizaban los mismos programas de actividades.

Por último, se han incorporado diseños cuyo objetivo era conocer en qué medida la alternativa metodológica propuesta es aceptada, de forma positiva, por el profesorado; pues, ninguna modificación, por muy justificada que teórica y prácticamente esté, será efectiva sino es asumida por aquellos que son los responsables de llevarla a la práctica.

El capítulo VIII, cuarta parte, es el último de este trabajo y recoge, a modo de resumen, las conclusiones obtenidas en este trabajo, así como las posibilidades a las que conducen las contrastaciones de las hipótesis emitidas y que van dirigidas a poder realizar propuestas similares en todos los temas del currículo y, en todos los niveles, incluidos el universitario. Al mismo tiempo, se abre un nuevo camino dirigido a la formación del profesorado al considerar que la presentación y justificación de la propuesta en cursos de formación ha propiciado que un número importante de profesores y profesoras hayan asumido la necesidad de un cambio metodológico en sus aulas. Ello unido a la puesta en práctica de los programas de actividades en la fase de seguimiento en su formación, hará que aumente el número de profesores y profesoras que apliquen en el aula su

currículo relacionado con esta metodología y, por tanto, logrará mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

El trabajo finaliza con la obligada referencia bibliográfica de las citas realizadas en él y los anexos en los que se muestra la concreción de los programas de actividades aplicados. Todo lo dicho en esta presentación permite justificar el hilo conductor de esta memoria que se concreta en el siguiente índice:

INDICE GENERAL

PRIMERA PARTE: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

CAPITULO I: PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA DIDÁCTICO QUE SE ABORDA Y MARCO TEÓRICO AL QUE SE CIRCUNSCRIBE..... 23

1.1 Aportaciones de la investigación didáctica al planteamiento del problema.	25
1.2. La búsqueda de nuevos paradigmas del proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias.....	28
1.3. La importancia del conocimiento de los gases en el desarrollo de la Química.....	34
1.5. El problema didáctico: ¿Cómo enseñar la naturaleza corpuscular de la materia a estudiantes que inician la educación secundaria para que puedan aprender mejor?	37

SEGUNDA PARTE: EL ALUMNADO DE SECUNDARIA APRENDE DE FORMA POCO SIGNIFICATIVA LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

CAPÍTULO II. LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL Y SU FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. Pg 4 3

2.1. Contra el reduccionismo conceptual en las finalidades y objetivos de un currículum de Ciencias para la enseñanza secundaria obligatoria.....	44
2.2. Características generales del currículum tradicional de Ciencias:	

Algunas consecuencias de su aplicación.....	46
2.3. Aportaciones de la didáctica de las Ciencias a la detección del fracaso escolar en la consecución de aprendizajes significativos.....	50
2.4. Aportaciones de la psicología de la educación a la concreción del currículum.....	58
2.5. Análisis histórico y epistemológico de la naturaleza corpuscular de la materia.....	64
2.6. Enunciado de la primera hipótesis principal.....	69
<u>CAPÍTULO III. OPERATIVIZACIÓN Y DISEÑOS DE LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL H-1.</u>	71
3.1. Operativización de la primera hipótesis principal.....	72
3.1.1. Operativización de la primera hipótesis derivada.	
3.1.2. Operativización de la segunda hipótesis derivada.	
3.2. Panorámica general de los diseños programados para contrastar la primera hipótesis.....	87
3.3. Diseños para contrastar la primera hipótesis derivada, según la cual el aprendizaje sobre la naturaleza corpuscular de la materia es poco significativo.....	90
3.4. Diseños para contrastar la segunda hipótesis derivada, según la cual las estrategias didácticas, mayoritariamente utilizadas, justifican el poco aprendizaje significativo logrado.....	117
Esquema resumen	125

CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL. 129

4.1. Presentación y análisis de las dificultades de aprendizaje en la naturaleza corpuscular de la materia..... 130

4.1.1. Concepciones alternativas del alumnado respecto a la materialidad de los gases en la vaporización..... 130

4.1.2. La masa no se conserva cuando se producen cambios en los que intervienen gases..... 134

4.1.2.a. Análisis de los resultados del cuestionario del documento-2 relativo a contrastar la conservación de la masa en procesos en los que se forman gases.

4.1.2.b. Contrastación de la dificultad que los estudiantes tienen para considerar al oxígeno como reactivo material que interviene en la oxidación de metales.

4.1.2.c. Diseño para comprobar las dificultades en considerar al oxígeno como reactivo en la combustión del magnesio.

4.1.3. Los estudiantes no utilizan la presión atmosférica para justificar hechos observados en la vida cotidiana..... 143

4.1.4. Las ideas alternativas de los estudiantes sobre la estructura interna de los gases al explicar sus propiedades específicas, son inestables. 146

4.1.5. Dificultades de los estudiantes para extrapolar el modelo cinético de los gases a los sólidos..... 149

4.1.5.a. El movimiento de partículas en los sólidos no se asume fácilmente.

4.1.5.b. ¿Cómo interpretan los estudiantes la dilatación térmica de los sólidos?

4.1.6. Dificultades de los estudiantes al tener que resolver ejercicios en los que deben convinar relaciones macroscópicas con las microscópicas.	149
4.2. Análisis de las insuficiencias en la enseñanza convencional de la naturaleza corpuscular de la materia.....	160
4.2.1. El profesorado no tiene en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica al enseñar la naturaleza corpuscular de la materia.....	161
4.2.2. Análisis de cómo se presenta la naturaleza corpuscular de la materia en los libros de texto de enseñanza secundaria....	164

TERCERA PARTE: LA ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN MEJORA EL APRENDIZAJE DE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

CAPÍTULO V: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS PRINCIPAL..... 173

5.1. La concepción constructivista del aprendizaje de las Ciencias: principales características de los modelos de cambios conceptuales.....	175
5.2. Contribución de la Historia y la Filosofía de la Ciencia a una orientación radicalmente constructivista del aprendizaje.....	178
5.3. El modelo de aprendizaje por investigación.....	184
5.3.1. Las estrategias didácticas deben ser congruentes con el objetivo de familiarizar a los estudiantes con el conocimiento procedimental.....	185

5.3.2. ¿Cómo organizar el trabajo del alumnado en el aprendizaje por investigación?.....	187
5.3.3. El programa de actividades como guía de trabajo en el desarrollo curricular del aprendizaje por investigación.....	188
5.3.4. Una propuesta final: la enseñanza como investigación.....	193.
5.4. Enunciado de la segunda hipótesis principal.....	195

CAPÍTULO VI: OPERATIVIZACIÓN Y DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS PRINCIPAL. 197

6.1. Operativización de la segunda hipótesis principal.....	197
6.1.1. Operativización de la primera hipótesis derivada de H.2.	
6.1.2. Operativización de la segunda hipótesis derivada de H.2.	
6.1.3. Operativización de la tercera hipótesis derivada de H.2.	
6.2. Panorámica general de los diseños programados para contrastar la segunda hipótesis.....	205
6.3. Diseños para contrastar la primera hipótesis derivada de H.2 según la cual es posible aplicar en el aula estrategias basadas en el aprendizaje por investigación.....	208
6.4. Diseños para contrastar la segunda hipótesis derivada de H.2 relativa a la mejora en el aprendizaje.....	210
Esquema resumen	233

CAPÍTULO VII: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS DISEÑOS PROGRAMADOS PARA CONTRASTAR LA 2ª HIPÓTESIS PRINCIPAL. 237

7.1. ¿Es posible desarrollar y aplicar un microcurrículo de la naturaleza corpuscular de la materia a través del aprendizaje por investigación?.....	238
7.1.1. Resultados encontrados en la concreción de los programas de actividades.	
7.1.2. Ejemplos de registros realizados para contrastar la viabilidad de la aplicación en el aula.	
7.2. Análisis de los resultados encontrados al contrastar la eficacia del método.....	243
7.2.1. El alumnado del grupo de 2º de BUP experimental responden mejor ante cuestiones relacionadas con la materialidad de los gases.	
7.2.2. Resultados del diseño pretest y postest para medir el progreso del grupo experimental de 8º de EGB.	
7.2.3. El alumnado del grupo de 8º de EGB mejora el aprendizaje respecto al de otros de niveles superiores.	
7.2.4. La mejora también se produce en procedimientos y estrategias para resolver ejercicios con enunciados poco familiares.	
7.2.5. Análisis de los resultados en los que se muestra la mejora de los estudiantes que han sido instruidos con los programas de actividades preparados.	
7.2.6. Resultados encontrados en los diseños programados para valorar la actitud del alumnado	
7.3. ¿Cómo valora el profesorado la nueva propuesta metodológica? Resultados en la contrastación de la tercera hipótesis derivada de H-2.....	279
7.4.1. Resultados del cuestionario aplicado al profesorado que voluntariamente ha querido desarrollar en el aula los programas de actividades preparados.	

7.4.2. Resultados de la entrevista mantenida con profesorado que ha sido tutorizado personalmente al aplicar los programas de actividades.

CUARTA PARTE: CONCLUSIONES

<u>CAPÍTULO VIII:</u> CONCLUSIONES DE ESTE TRABAJO Y PERSPECTIVAS SOBRE NUEVAS INVESTIGACIONES.	305
ANEXOS	Pg 321
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS INDICADAS	Pg 363

1ª Parte

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DIDÁCTICO DEL PROBLEMA QUE SE ABORDA Y MARCO TEÓRICO AL QUE SE CIRCUNSCRIBE

Resulta frecuente leer o escuchar, a través de los distintos medios de comunicación, referirse al "fracaso escolar" que se produce en todos los niveles educativos tanto universitarios como en el resto. Esto se atribuye a lo que se considera un número excesivo de suspensos y un porcentaje elevado de alumnas y alumnos que no llegan a finalizar los estudios que iniciaron. Con ser este dato de por sí preocupante, desde el punto de vista del proceso de enseñanza-aprendizaje resulta todavía más comprobar el poco uso que se hace de los conocimientos académicos adquiridos y que se supone habían sido aprendidos.

El análisis cuidadoso de esta situación, hecho por la investigación educativa en un gran número de dominios de las Ciencias, ha conducido a concluir que el aprendizaje de las Ciencias obtenido en las aulas no es significativo.

Es bien conocida la tesis defendida por una parte del profesorado de los primeros cursos de EEMM que atribuye el "fracaso" de su propia aula al deficiente nivel con el que acceden de la EGB, al tiempo que informes como el elaborado por la Universidad Politécnica de Valencia en 1990, referida a la asignatura de Química, afirma: "A pesar de que los alumnos han superado muy recientemente las pruebas de selectividad, es claramente constatable que una porción importante de ellos no recuerdan aspectos fundamentales del programa

de COU o no tienen suficientemente consolidados los conocimientos para que sirvan de cimiento de lo que deben aprender en el primer curso", lo que confirma de nuevo que esta falta de preparación se puede extender a los estudiantes de EEMM. Pero, si a esto añadimos los resultados obtenidos en trabajos recientes referentes al aprendizaje logrado en el nivel universitario (Furió y Calatayud 1996) en donde también se constata la poca incidencia de estas enseñanzas, se puede generalizar, con cuidado, que la enseñanza de las Ciencias tiene problemas, cualquiera que sea el nivel académico, y requiere un análisis crítico profundo que advierta de cuáles son sus defectos.

En consecuencia, podemos admitir que la situación de la falta de un aprendizaje significativo es responsabilidad fundamentalmente, de cómo se enseña, por lo que se hace necesario un análisis más en profundidad de los supuestos teóricos en los que se basa el proceso de enseñanza-aprendizaje usualmente utilizados.

Ahora bien, esta revisión crítica de los supuestos teóricos de la enseñanza habitual se deberá hacer teniendo en cuenta los avances logrados en la didáctica de las Ciencias y, en particular, los resultados que está obteniendo la investigación didáctica en este dominio. Ello significa la búsqueda de modelos alternativos de enseñanza-aprendizaje coherentes con aquellos resultados y que puedan presentarse como hipótesis didácticas a contrastar en la práctica de clase.

Así pues, el problema que se aborda en este trabajo tiene una doble vertiente, por una parte, intenta mostrar la ineficacia del modelo de enseñanza, utilizado mayoritariamente por el profesorado de Ciencias, para lograr aprendizajes significativos en un dominio acotado de la enseñanza de las Ciencias, como es el de la naturaleza corpuscular de la materia gaseosa y, por otra, trata de validar como alternativa el modelo de enseñanza por investigación, viendo cuales son sus resultados tanto cognitivos como afectivos.

Pasemos, a continuación, a exponer más ampliamente al marco teórico de donde emerge el problema que se aborda en este trabajo.

1.1. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA AL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El análisis de algunos de los acontecimientos surgidos en el proceso de aprendizaje del alumnado permiten detectar síntomas suficientes para confirmar la existencia de un problema relacionado con la falta del aprendizaje escolar. Así:

a) Un rápido análisis de los contenidos de los libros de texto de Química pone de manifiesto que conceptos como: sustancia, mezcla, elemento, compuesto, mol, leyes ponderales, formulación y nomenclatura química, etc. son tratados, prácticamente, en todos los cursos correspondientes a la segunda etapa de la EGB actual, los de BUP, COU e incluso los correspondientes a los primeros cursos universitarios. Y, en prácticamente todos ellos, se presentan como si fuesen estudiados por primera vez, lo que da una idea de la poca confianza existente sobre su aprendizaje.

b) Las programaciones que anualmente se realizan en los Departamentos o Seminarios Didácticos se ven obligados a repetir muchos de los contenidos conceptuales que se debían haber aprendidos en cursos anteriores y que la experiencia demuestra que los estudiantes han olvidado total o parcialmente. Todos los profesores tenemos experiencia en haber preguntado a nuestros alumnos, en alguna ocasión, si un determinado conocimiento lo habían estudiado el curso anterior y cómo, en la mayoría de las veces, se contesta negativamente y, sin que en ello hubiese intención de engañar, sino que más bien las respuestas vienen a mostrar lo poco que recuerdan sobre aquel

contenido. Conviene aclarar la diferencia entre repetición y revisión de conocimientos. Ésta es necesaria en el proceso de aprendizaje ya que aprender no es tarea fácil y se necesita tiempo y reiteración hasta llegar a cierta comprensión y dominio de los conocimientos. Nosotros consideramos que, en muchos momentos del currículum escolar, es necesaria una revisión de muchos de los conocimientos tratados anteriormente; si bien, su tratamiento debe ser diferente a lo que es un estudio inicial.

c) El fracaso en la resolución de problemas de lápiz y papel de Física y Química es otro dato más que cuestiona la eficacia del modelo de enseñanza utilizado. Es bien conocido el elevado porcentaje de alumnos que suelen fracasar en el intento de resolución de un problema y que se traduce en un aumento de suspensos en las asignaturas en las que esta resolución forma parte esencial del proceso de evaluación del aprendizaje que, ordinariamente, se realiza al finalizar una unidad didáctica o al final del curso académico.

Todos estos síntomas son conocidos por el profesorado que imparte Ciencia. Sin embargo, son muchos los que consideran que las causas del fracaso de los estudiantes son debidas al propio alumno (escaso interés, falta de capacidad intelectual para comprender conceptos, poco trabajo realizado fuera del aula), a factores sociológicos (situación socio-económica de los estudiantes) o estructurales (falta de recursos apropiados, excesivo número de alumnos por aula).

Estas creencias normativas de los profesores y profesoras son coherentes, tanto con la formación inicial recibida como con la adquirida experiencialmente a través de la práctica en el aula. Por ello, las aportaciones de las investigaciones didácticas aparecidas en los últimos años han resultado concluyentes respecto a la

existencia de un problema relacionado con la eficacia de la enseñanza, al comprobar la escasa transmisión de conocimientos efectuada tras los años de escolaridad pasados. Las investigaciones sobre las concepciones alternativas de los alumnos, así como el fracaso en la utilización de estrategias para resolver problemas, o las actitudes de los estudiantes ante el aprendizaje de las Ciencias, son algunos de los campos que ha utilizado la investigación didáctica para poner de manifiesto la existencia de un problema en el que el enseñante, de una u otra forma, no puede ser ajeno.

De hecho, y sin negar la posible influencia de los factores señalados anteriormente por el profesorado como causantes del fracaso de los estudiantes, nosotros consideramos que no son esos los más importantes y que, por contra, de todos los factores que intervienen en el aprendizaje de los estudiantes, la influencia del profesor y el modelo de enseñanza elegido es el que tienen un mayor peso específico, tal como se recoge en un informe realizado por inspectores británicos de enseñanza secundaria: *"Más que cualquier otra cosa, los métodos de enseñanza afectan a las respuestas de los alumnos y las alumnas y determinan si están interesados, motivados o implicados en la lección de tal manera que se sienten atraídos por un buen aprendizaje en el que comprenden y desarrollan sus destrezas"* (Jenings y Ingle, 1982).

Por tanto, se hace necesario una revisión de los fundamentos teóricos del paradigma de enseñanza-aprendizaje que de forma mayoritaria viene utilizando el profesorado. Éste se basa en considerar a la mente del alumno como una tábula rasa en la que es posible inscribir los conocimientos mediante el envío de la información pertinente y organizada. Aprender Ciencias consiste en asimilar los conocimientos científicos tal y como la Ciencia los ha formulado; por consiguiente, enseñar Ciencias tiene como principal tarea exponer estos conocimientos verbalmente de forma clara y ordenada. El eje esencial de la misma gira alrededor de la lección magistral en la que el profesor o profesora

expone los conocimientos que desea transmitir y los alumnos y alumnas toman notas y hacen preguntas. Las exposiciones vienen, generalmente, acompañados de ejercicios de aplicación y apoyo para ayudar a la consolidación de los conocimientos explicados.

Si el alumnado, después de estudiar individualmente, no ha aprendido se considera que es debido a alguna de las causas anteriormente mencionadas.

1.2. LA BÚSQUEDA DE NUEVOS PARADIGMAS DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS.

La búsqueda de paradigmas que sustituyesen al tradicional comienza a producirse en algunos de los países desarrollados a finales de la década de los 50, donde una serie de cambios económicos tendrán una influencia decisiva sobre la educación, iniciándose reformas de los sistemas educativos que estaban dirigidos, esencialmente, a ampliar la escolaridad a capas mayores de la sociedad.

No obstante, el detonante principal en la búsqueda de nuevos paradigmas fue la situación política mundial de aquella época. Esta situación se caracteriza por una distensión entre las relaciones de los países de los dos grandes bloques, Estados Unidos y la URSS, que trasladan el posible enfrentamiento bélico al campo del desarrollo científico y especialmente a la carrera espacial. Así el lanzamiento del primer Sputnik ruso en 1957 conmociona a los dirigentes y a la opinión pública del bloque occidental que consideraron que el sistema educativo, en general, y la enseñanza de las Ciencias, de forma más particular, eran, en gran medida, responsables del “atraso producido”. Se acusó, con razón, a la enseñanza de las Ciencias de ser excesivamente teórica y exenta de las características propias del trabajo científico (Coll 1990).

Por ello es lógico que los modelos de enseñanza que se buscan, para el aprendizaje de las Ciencias, prioricen estrategias didácticas basadas en la realización de experimentos como punto básico de referencia dotándoles de un

carácter eminentemente práctico. Esta situación cristalizó en un nuevo paradigma del proceso de enseñanza-aprendizaje conocido como de descubrimiento autónomo (Gil, 1983).

El aprendizaje por descubrimiento parte de la idea ya manifestada por Piaget según la cual la mejor manera de que un niño aprenda algo es que lo "invente", o lo que es lo mismo, "lo descubra por sí mismo". Aprender Ciencias sería, sobre todo, dominar las destrezas puestas de manifiesto en los procesos del Método Científico, de ahí que el objetivo esencial de la enseñanza de las Ciencias consista en enseñar estas destrezas científicas y el papel del profesor sería, en consecuencia, el de facilitar las condiciones que favorezcan, en los alumnos y alumnas, el descubrimiento de los contenidos que se desean enseñar a partir de la realización de experimentos.

Es decir, una vez más se produce lo que se conoce como movimiento pendular paradigmático; pues, la enseñanza de las Ciencias pasa de un modelo basado casi exclusivamente en el aprendizaje de los contenidos conceptuales a otro en los que éstos tienen escasa importancia, ya que lo verdaderamente importante es el aprendizaje de los procedimientos utilizados para descubrir los conceptos y las teorías.

Sin embargo, no tardó demasiado tiempo en oírse voces críticas sobre el aprendizaje por descubrimiento, como p.e. la expresada por Ausubel (1978):

"Como los términos laboratorio y método científico se volvieron sacrosantos en las preparatorias y universidades norteamericanas, los estudiantes fueron obligados a remedar los aspectos exteriormente conspicuos e inherentemente triviales del método científico (...). En realidad, con este procedimiento aprendieron poco de la materia y menos aún del método científico".

Esta afirmación de Ausubel no puede considerarse, en modo alguno, como una exageración; pues, se vió confirmada posteriormente a través de una detenida evaluación realizada sobre la enseñanza de las Ciencias en U.S.A. durante ese período, tras años de innovaciones aparecidas en las publicaciones periódicas. En esta evaluación se constató, concretamente, que la mayoría de los cursos no incluían un sólo experimento en la que los estudiantes puedan identificar y definir un problema, proponer procedimientos, recoger e interpretar resultados, etc. (Yager y Penick, 1983).

En resumen, podemos decir que las propuestas que conforman este modelo de aprendizaje por descubrimiento en las que se pretendía aplicar el método científico resultaron demasiado ambiguas e imprecisas (Keislar y Shulman 1966), con poca fundamentación teórica y donde a menudo, se incurría en visiones simplistas, muy alejadas de la forma en que realmente se elaboran los conocimientos científicos (Rachelson 1977, Gil 1983). En efecto, estos planteamientos manifiestamente inductivos generaron entre el profesorado una visión de la ciencia marcada por un empirismo extremo (Giordan 1978) poco en consonancia con los avances de la filosofía de la ciencia de la época, olvidando el papel central que las hipótesis y el pensamiento divergente tienen en el trabajo científico (Hempel 1976). Por otra parte, estas propuestas de aprendizaje por descubrimiento se presentaban como un proceso individual y autónomo, en clara contradicción con el carácter social y dirigido en todo trabajo científico (Furió y Gil 1985).

Así pues, una primera gran aportación de los resultados de la investigación didáctica a finales de la década de los 70 fue poner en evidencia las características del denominado aprendizaje por descubrimiento basado supuestamente en las características del trabajo científico, así como poner de manifiesto una serie de defectos epistemológicos que le alejan de la visión que

actualmente se tiene de lo que constituye la naturaleza de la Ciencia y del trabajo científico, como son: el inductivismo extremo en el que el modelo incurría, la falta de atención a los contenidos, la insistencia en una actividad completamente autónoma de los alumnos, etc. (Gil, 1993).

Por eso, cuando Millar y Driver (1987) señalan que el fracaso del modelo de descubrimiento autónomo se debe a que los procesos en las Ciencias son inseparables de los contenidos, ya que el desarrollo de las destrezas intelectuales se produce sobre campos conceptuales concretos, están indicando la necesidad de que los contenidos enseñados deban contemplar de forma integrada tanto los conceptos como los procedimientos.

Ahora bien, los análisis sobre el modelo de aprendizaje por descubrimiento también han permitido detectar la existencia de aspectos positivos que deben tenerse presentes en el momento de proponer otros alternativos. Así, el paradigma en el que se basa el modelo intentó desarrollar plenamente la idea de que los estudiantes debían familiarizarse con las actividades del trabajo científico, tratando de lograr actitudes positivas hacia la Ciencia. Cuestión ésta que actualmente se está manifestando como imprescindible para lograr aprendizajes significativos, de tal forma que a los contenidos conceptuales y procedimentales citados anteriormente deben sumarse los actitudinales, situando los tres en el mismo nivel de importancia y considerándolos igualmente interdependientes.

Por ello, coincidimos con Gil (1993) cuando señala: *"los resultados del paradigma de aprendizaje por descubrimiento no pueden interpretarse simplemente como un fracaso, sino como el origen de reestructuraciones posteriores, como elemento dinamizador de una enseñanza que permanecía anclada en tradiciones asumidas acríticamente"*.

Las críticas vertidas a ese modelo estaban basados principalmente en la idea manifestada por Ausubel, según el cual "la mayoría de los alumnos no se encuentran capacitados para descubrir autónomamente todo lo que deben

saber". Por eso no es de extrañar que el mismo Ausubel presente como alternativa al modelo de descubrimiento otro en el que vuelve a proponer el aprendizaje como un proceso basado en la recepción de conocimientos; ahora bien, con diferencias importantes respecto al modelo de recepción utilizado con anterioridad al de descubrimiento, al considerar que los alumnos llegan al aula con conocimientos adquiridos que tienen un papel decisivo en el aprendizaje y que exige, por parte del profesor, conocerlos para poder tenerlos en cuenta así como que los nuevos conocimientos deben integrarse en sus estructuras conceptuales, lo que supone una aproximación a la concepción científica superior a la del modelo de descubrimiento (Gil 1993).

Sin embargo, al renunciar a que los alumnos construyan sus conocimientos reduce el papel del profesorado al de transmisor y, consecuentemente, alejado de lo que es una actividad científica. El profesor procura que aprendan sus alumnos proporcionándoles conocimientos ya elaborados que se supone que éstos aprenden por recepción.

Por tanto, encontramos, por una parte, un modelo de descubrimiento autónomo caracterizado por una falta de atención a los contenidos que transmite una visión deformada de lo que consiste el trabajo científico (Ausubel 1978, Gil 1983, Hodson 1985, Millar y Driver 1987) y, por otra, un modelo de aprendizaje receptivo que transmite una visión empobrecida sobre el trabajo científico y al que algunos responsabilizan de las actitudes negativas hacia la ciencia y su aprendizaje (Schibecci 1984, Escudero 1985, James y Smith 1985, Yager y Penick 1986, Matthews 1991, Furió 1994).

En consecuencia, se hace necesario un replanteamiento en profundidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias que tenga en cuenta las conclusiones obtenidas en los análisis de los modelos mencionados.

Ahora bien, en la elaboración de los modelos que permitan concretar las ideas del paradigma en propuestas susceptibles de llevarlas al aula es el desarrollo de la didáctica de las ciencias, como dominio específico, la que ha permitido integrarlas de manera más eficaz (Gil, 1993).

Todas estas circunstancias han conducido a la confección de un nuevo marco conocido como constructivista y que actualmente ha suscitado un amplio consenso entre las personas que trabajan en didáctica de las ciencias y ha sido calificada como la aportación más relevante de las últimas décadas en este campo (Coll 1989, Gruender y Tobin, 1991).

Este marco constructivista parte de la base de que el aprendizaje supone un cambio en las estructuras del conocimiento de quien aprende, por lo que el punto de partida son siempre las ideas de los estudiantes y, aprender Ciencias, supone construir los conocimientos.

Resnick, (1983) resume las características del marco constructivista en tres principios:

- Quienes aprenden construyen significados.
- Comprender algo supone establecer relaciones.
- Todo aprendizaje depende de los conocimientos previos.

Las propuestas constructivistas han mostrado una gran capacidad integradora de estudios muy diversos: desde la epistemología contemporánea (Bachelard, Kuhn, Lakatos ...) a la teoría de los constructos personales de Kelly, pasando por los trabajos de Piaget y Vigotsky.

En el nuevo marco lo importante es lograr que los aprendizajes sean significativos, lo cual quiere decir que el estudiante debe ser capaz de utilizarlos en situaciones diversas. Para conseguirlo es necesario que los nuevos conocimientos se ligen a su estructura cognoscitiva lo cual obliga a que, al

menos, se cumplan dos condiciones. La primera, referida a que el contenido sea potencialmente significativo, tanto desde el punto de vista de su estructura interna (significatividad lógica) como desde el punto de vista de su posible asimilación (significatividad psicológica). La segunda considera que el alumno debe tener una actitud favorable para aprender significativamente. Si los estudiantes tienen predisposición a memorizarlo repetitivamente (suele requerir menos esfuerzo y es la forma de aprendizaje a la que están acostumbrados) los resultados carecerán de significados y tendrán poco valor educativo (Coll, 1991). Si bien, tal como señala Coll (1988), es el profesor el que determina con su actuación, en su enseñanza, qué actividades, de las que participa el alumno, posibilitan un mayor o menor grado de amplitud y profundidad de los significados construidos y sobre todo el que asume la responsabilidad de orientar esta construcción en una determinada dirección.

El trabajo que hemos desarrollado pretende mostrar que la aplicación de modelos basados en el constructivismo mejora el aprendizaje de los estudiantes.

Ahora bien, la contrastación de esta hipótesis debe realizarse sobre una parte determinada del curriculum escolar, en concreto nosotros hemos optado por realizarlo sobre los gases.

1.3. LA IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LOS GASES EN EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA.

La importancia que la interpretación del estado gaseoso ha tenido en el desarrollo de la Química nadie lo pone en duda. El nacimiento de esta disciplina, como ciencia moderna, no se produce hasta que se consigue interpretar la participación de los gases en las reacciones de combustión, y esto no se logra hasta que se demuestra su existencia material, se diferencian y caracterizan los

distintos “aires” y se dispone de un modelo corpuscular que justifique su comportamiento físico.

Es decir, aceptar la materialidad de los gases, así como la interpretación de su intervención en las reacciones químicas, es una de las bases esenciales para llegar a construir la teoría atómica. Esta teoría permite vincular el mundo de los fenómenos macroscópicos a un modelo de materia, explicando datos experimentales conocidos, prediciendo otros y aportando el cuerpo de conocimientos básico de una ciencia cuyo objetivo es el estudio de la materia y sus cambios químicos.

Desde el punto de vista histórico retrocedemos a la concepción aristotélica de la constitución de la materia (Ross, W.D. 1981) según la cual todo cuerpo tenía características físicas y metafísicas (animista) que se explicaban como mezcla de los cuatro elementos: aire, tierra, agua y fuego.

Por otra parte, las transformaciones químicas materiales eran bien explicadas en la parte de la Física de Aristóteles titulado "De generatione et de corruptione" y tenía como fundamento la absorción y liberación de elementos contenidos potencialmente en los cuerpos, teniendo en cuenta el carácter animista de la materia según la filosofía aristotélica.

En consecuencia, no es de extrañar que durante un gran período histórico que abarca hasta la alta Edad Media se entendiera como una herejía la afirmación de que el aire pesaba (Davy, 1976), como tampoco lo es que actualmente la mayor parte de los niños y niñas de 10 años opinen que los gases no pesan (Furió y Hernández, 1983), que crean que los vapores o los gases no tienen peso o que pongan en duda la materialidad de los gases en diversas situaciones (Seré, 1982).

Históricamente fue necesario esperar al siglo XVI para que van Helmont expresara sus primeras ideas sobre la imposibilidad de convertir el agua en aire, como se postulaba por algunos científicos, al tiempo que diferenciaban la noción

de gas de la de aire (Taton, 1958). Una vez aclaradas estas ideas comenzó una época floreciente en caracterizaciones y diferenciaciones de los gases que la historia ha denominado "Química neumática" y cuya duración fue prácticamente de dos siglos. En efecto, la ruptura epistemológica del paradigma precientífico se genera según Khun (1971), en la década de 1770 por Lavoisier, Cavendish, Priestley y contemporáneos gracias fundamentalmente a dos factores:

- al nacimiento y desarrollo de la química neumática y
- a la cuestión de las relaciones de peso en los procesos químicos.

Por tanto, la interpretación de la participación de los gases en los procesos químicos fue uno de los hechos claves para la comprensión de las transformaciones químicas y, en consecuencia, del desarrollo de esta Ciencia.

Desde el punto de vista didáctico, el tema fundamental es cómo lograr la transición desde la concepción macroscópica que sobre el comportamiento de los gases los alumnos y alumnas pueden construir, a partir del estudio experimental del comportamiento de éstos, a una interpretación corpuscular que conduzca a un correcto modelo sobre la materia en general y, posteriormente, sobre el cambio químico y sus leyes. Como afirma Ben Zvi (1982) *"la correcta coordinación entre los niveles de descripción macroscópica y atómico-molecular es esencial para una adecuada iniciación al estudio de la Química"*.

Por esa razón, no es de extrañar que la investigación en la didáctica de la Química se haya ocupado, desde los primeros momentos, en estudiar el aprendizaje de conceptos relacionados con la materia gaseosa lo que ha provocado que los trabajos de esta parte sean los más numerosos en las publicaciones periódicas de investigación en enseñanza de la Química (Journal of Research in Science Teaching, Education in Chemistry, Journal Chemical Education).

Research in Science Teaching, Education in Chemistry, Journal Chemical Education).

Así, Séré (1986, 1989) ha estudiado las concepciones alternativas de los niños sobre el aire, las variaciones de las propiedades de los gases, la noción de los niños sobre la presión, etc. Novick y Nussbaum (1981), se han dedicado más a conocer las concepciones alternativas de los alumnos, sus dificultades y el cambio conceptual en el tema de la constitución corpuscular de la materia en la fase gaseosa. Osborne (1991) ha investigado la interpretación que hacen sobre procesos en los que intervienen gases, mientras Llorens, en su tesis doctoral (1987), dedica una gran parte al conocimiento de las concepciones preliminares de los estudiantes, sobre diversos aspectos del comportamiento de los gases, principalmente en la edad correspondiente a la etapa secundaria

Pero, además, son otros muchos más los investigadores que podrían citarse como participantes en trabajos relacionados con el tema que estudiamos y dirigidos a la edad que abordamos. Muchos de los resultados obtenidos por estos autores se comentarán a lo largo del presente trabajo, todo lo cual permite detectar la importancia didáctica que este tema tiene dentro del marco general de un aprendizaje comprensivo de la Química.

1.4. EL PROBLEMA DIDÁCTICO: ¿CÓMO ENSEÑAR LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA A ESTUDIANTES QUE INICIAN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA PARA QUE LA PUEDAN APRENDER MEJOR?

Como ya hemos mencionado, algunas de las anteriores investigaciones han venido a confirmar, una vez más, la existencia de un cierto paralelismo entre algunas de las dificultades históricas en la comprensión de ciertos conceptos correspondientes a la naturaleza corpuscular de la materia, con las que presentan los estudiantes (Furió, Hernández y Harris, 1987). Si a estas dificultades de

parece lógico suponer que el poco aprendizaje significativo logrado por la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia será el problema didáctico a resolver que podemos concretar en la forma deductiva que sigue:

“Los problemas históricos habidos en la construcción de un modelo de materia, en particular de los gases, nos están advirtiendo de las posibles dificultades conceptuales y epistemológicas que pueden tener los estudiantes cuando se inician en el estudio de la naturaleza corpuscular de la materia. En el supuesto de que así sea habrá que buscar soluciones didácticas a la falta de aprendizaje significativo de estos conocimientos. La búsqueda de posibles soluciones debe concretarse proponiendo estrategias de enseñanza que permitan un mejor aprendizaje significativo.”

Más concreto, el problema didáctico que se plantea pretende contestar a las siguientes cuestiones:

- 1. ¿Qué dificultades de aprendizaje cabe esperar cuando se enseña la naturaleza corpuscular de la materia en el nivel correspondiente a la enseñanza secundaria obligatoria?*
- 2. ¿En qué medida estas dificultades constituyen preconcepciones resistentes a la enseñanza convencional?*

La existencia de estas dificultades de aprendizaje nos llevará a buscar las causas de las mismas y ello implica el análisis de las enseñanzas como principal factor que influye sobre el aprendizaje. Es decir, se tratará de responder a:

3. *¿Cómo se enseña el tema de la naturaleza corpuscular de la materia y, en particular, el de los gases en la enseñanza secundaria?*
4. *¿Se tienen en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica?*
5. *¿Qué insuficiencias o deficiencias conceptuales, epistemológicas y metodológicas existen en las estrategias didácticas utilizadas en la enseñanza habitual de estos conceptos y modelos?*

La crítica de esta enseñanza debe suponer, al propio tiempo, la presentación constructiva de una propuesta alternativa que aplicada a grupos de alumnos y alumnas muestre su mayor eficacia. Por tanto, el problema también ha de responder a las preguntas:

6. *¿Es posible realizar una enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia que mejore sustancialmente el aprendizaje?*
7. *¿Cómo son valoradas estas nuevas estrategias cuando se presentan al profesorado en actividades de formación?*

Es decir, que tal como se ha mencionado en el prólogo, este trabajo tiene dos partes: una primera, dirigida a conocer cómo se enseña y se aprende, usualmente, la naturaleza corpuscular de la materia en las aulas de secundaria y, una segunda, en la que se presenta una alternativa a las metodologías tradicionales basadas en el modelo de enseñanza por investigación de corte constructivista. Cada una de estas partes se articula en torno a una hipótesis principal: la primera, centrada en señalar la ineficacia en el aprendizaje logrado por la enseñanza convencional, y la segunda, en la que se afirma la mejora que se producirá al aplicar la alternativa mencionada. Ambas están precedidas de una fundamentación teórica que supone ampliar algunas de las ideas citadas en este capítulo.

2ª Parte

**EL ALUMNADO DE SECUNDARIA APRENDE
DE FORMA POCO SIGNIFICATIVA LA
NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA
MATERIA**

CAPÍTULO II

LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL Y SU FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

En el capítulo anterior se ha concretado el problema planteado en esta investigación. En éste abordamos la primera de las hipótesis principales referida a la poca significatividad del aprendizaje que sobre el tema referido a la naturaleza corpuscular de la materia consiguen los alumnos y alumnas que cursan estudios de enseñanza secundaria, en edades de 12-16 años, debido principalmente al currículum que el profesorado, de forma habitual, utiliza en las aulas y cuyo modelo didáctico se basa en la metodología conocida como de transmisión-recepción de conocimientos previamente elaborados. Se trata, pues, en este capítulo, de fundamentar teóricamente porqué el currículum escolar prescrito habitualmente no reúne las condiciones que pueden favorecer, en general, el aprendizaje significativo de estos conocimientos científicos. Ello se hará apoyándonos, fundamentalmente, en las investigaciones didácticas que han permitido detectar un pobre aprendizaje significativo de estos contenidos y en las aportaciones que desde el campo de la psicología se han realizado en los últimos años al proceso de enseñanza-aprendizaje y que, en cierta forma, permiten justificar los resultados encontrados. El análisis histórico y epistemológico sobre los conceptos de la naturaleza corpuscular de la materia basado en las conclusiones anteriormente determinadas, permitirá concretar esta hipótesis, con la que finalizaremos el presente capítulo.

2.1. CONTRA EL REDUCCIONISMO CONCEPTUAL EN LAS FINALIDADES Y OBJETIVOS DE UN CURRÍCULUM DE CIENCIAS PARA LA ENSEÑANZA SECUNDARIA OBLIGATORIA.

Un currículum dirigido a una etapa obligatoria como es la que estamos analizando -12-16 años- tiene como principal finalidad desarrollar en alumnos y alumnas capacidades, destrezas y actitudes necesarias para que puedan desenvolverse plenamente como futuros ciudadanos en la sociedad de la que forman parte (Furió, 1994a).

Cumplir con esta finalidad supone dotar al currículum de una considerable riqueza de contenidos no sólo conceptuales, sino también procedimentales y actitudinales, situación muy diferente a la que actualmente suele darse en la mayoría de los que vienen siendo utilizados por el profesorado. Para comprobarlo es suficiente contemplar los libros de texto usualmente utilizados, caracterizados por disponer casi exclusivamente de contenidos conceptuales y algunas experiencias alejadas de la concepción científica (Payá 1991). Ello implica una visión reduccionista de las finalidades del currículo de forma que en realidad más que de currículum debe hablarse de temario, término, por otra parte, con el que se ha venido conociendo.

Huir de este reduccionismo supone, entre otras cosas, cambiar los criterios de selección de contenidos. En el currículum utilizado, de forma mayoritaria en las aulas de secundaria, el criterio esencial para seleccionar contenidos está basado, fundamentalmente, en considerar la importancia científica que éstos tienen para poder acceder con éxito al siguiente nivel de enseñanza (objetivo educativo de carácter propedeúico). Sin embargo, investigaciones de los últimos años han venido a comprobar que, uno de los criterios que deben tenerse presente es considerar contenidos que puedan interesar a los estudiantes. Esto supone, entre otras cosas, relacionarlos con su posible funcionalidad, por lo que no sólo la

importancia científica debe ser el criterio sino también considerar aquellos que resultan relevantes para el alumnado. Algunos especialistas consideran que el éxito de las Ciencias escolares depende, en parte, de hacer vivir en clase su principal finalidad puesto que a nadie le gusta ser obligado a hacer algo que no sabe a que conduce o que cree que es inútil (Bizzo 1993, Izquierdo 1994).

Otro criterio que debe tenerse en cuenta para seleccionar tanto contenidos, como para poder proponer actividades motivadoras que ayuden en la formación de actitudes positivas hacia el aprendizaje de las Ciencias, es considerar la Historia como fuente de problemas cuya resolución dió lugar a las diversas teorías científicas. Ello permite al profesorado conocer cuáles fueron los conocimientos que estaban presentes en los momentos en los que se producen cambios importantes en una teoría y sus análisis pueden permitir determinar cuáles de esos conceptos, procedimientos o actitudes han favorecido la construcción del conocimiento (Pedrinaci 1994). Por otra parte, también permite conocer cuáles han sido los obstáculos habidos en el desarrollo de la ciencia lo que puede, en algunos momentos, arrojar luz sobre problemas del aprendizaje individual (Matthews 1991, Furió y Guisasola 1993, Izquierdo 1996).

Matthews, M.R. (1994) señala que el conocimiento de la historia mejora su enseñanza puesto que, entre otras cosas: *“Motiva e interesa al alumno, permite humanizar los contenidos científicos tratados, proporciona una mejor comprensión de sus conceptos mostrando su desarrollo y perfeccionamiento, ayuda a la comprensión de ciertos episodios cruciales del conocimiento, permite un conocimiento más rico de la metodología y epistemología científica mostrando las pautas de los cambios que se producen en los procedimientos aceptados, etc”*.

El escaso dominio que el profesorado, en general, tiene sobre la epistemología y la historia de la ciencia es, sin duda, un inconveniente para presentar propuestas curriculares que logren aprendizajes significativos. En el

punto 5º de este capítulo se presenta un análisis de la epistemología y la historia de esta parte de la química que justifica esta afirmación.

En resumen, la finalidad de la enseñanza de las Ciencias en la secundaria obligatoria no es la preparación de futuros científicos, sino la de proporcionar una formación científica básica para todos los ciudadanos y ciudadanas. Es decir que no sólo objetivos de carácter propedeútico deben considerarse, sino que también los de carácter formativo deben ser, igualmente, tenidos en consideración. Todo ello supone romper con el reduccionismo anteriormente mencionado referido a la contemplación de contenidos conceptuales únicamente de carácter propedeútico e integrar los procedimentales, los actitudinales y, en general, aquellos que tengan un claro papel formativo.

2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CURRÍCULUM DE CIENCIAS TRADICIONAL ALGUNAS CONSECUENCIAS DE SU APLICACIÓN.

Si bien, la situación actual de cambio de Sistema Educativo hace que no pueda hablarse de un currículum que de forma unánime se utilice en las aulas, puede afirmarse que todavía sigue siendo muy mayoritario el que durante los últimos años se ha venido aplicando y que básicamente es coincidente con el que el profesorado tuvo en su etapa formativa.

Este currículum presenta unas características generales, algunas de las cuales ya han sido señaladas en el apartado anterior, y que se pueden resumir de la forma siguiente:

a) Los contenidos incluidos en él son casi exclusivamente conceptuales y se presentan formando parte de una ciencia “acabada”; es decir, sin hacer mención de la evolución y dificultades que han existido hasta llegar a admitirlos (aprobemática y ahistórica) lo que los convierte, en muchas ocasiones, en conceptos incomprensibles, sobre todo, para el alumnado no iniciado en el tema que, por otra parte, son a los que nos referimos en este trabajo. Los programas

constan de diversos temas, en cada uno de ellos se especifica una batería de conceptos omitiéndose, en la mayoría de ellos, la prescripción de los procedimientos adecuados en el estudio del tema y mucho menos la de las actitudes que puedan ayudar a conseguir estos objetivos.

b) Existe poca relación entre los contenidos seleccionados y la realidad extraescolar (Ribelles, Solbes y Vilches, 1995) lo que para los estudiantes significa una visión poco útil de la Química que se enseña. Así, se omiten o no se les da importancia a aquellos conocimientos asumidos por la cultura cotidiana; por contra, se destacan las definiciones y el aprendizaje memorístico de fórmulas. Se obliga, frecuentemente, a memorizar, incluso desde los primeros años (2ª etapa de EGB), fórmulas químicas de compuestos sin relacionarlos con los nombre vulgares, lo que provoca una disociación clara entre el conocimiento químico adquirido en el aula y el cotidiano (Cerdán, et al, 1985) e incluso, en ocasiones, se formulan y se nombran compuestos inexistentes (Hernández y Palacín 1993).

c) El currículum suele constar de gran cantidad de contenidos, coherente con la idea observada en una mayoría de textos, en los que aparece claramente la idea de cubrir superficialmente el máximo de contenidos, lo que dificulta un aprendizaje significativo de los mismos. De hecho en una encuesta entre el profesorado de Física y Química el temario usualmente utilizado es calificado, de forma mayoritaria, de enciclopédico e inabordable (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez 1991), siendo precisamente ésta una de las causas que los diseñadores de currículo señalan como obstáculo para lograr una buena enseñanza.

d) La secuenciación de contenidos suele realizarse teniendo en cuenta únicamente el criterio basado en que responda a una lógica de la disciplina, sin considerar la existencia de otros posibles criterios, como pueden ser el de la capacidad cognitiva del alumnado o en los posibles intereses que éstos puedan tener.

e) Las estrategias de enseñanza aplicadas de forma muy mayoritaria pueden inscribirse en el conocido como paradigma de transmisión-recepción en el que prima claramente la memorización mecánica sobre la comprensión. Según estos modelos se considera que es posible transmitir significados ya elaborados a través de explicaciones claras y bien presentadas -junto con los clásicos ejercicios y experimentos-. Al alumno se le presentan una serie de fórmulas y de conceptos que deben aprenderlos de modo literal. El objetivo de aprendizaje radica en lograr una reproducción de los contenidos por lo que cuantas más veces se repite la fórmula tanto mejor es el aprendizaje. La idea subyacente sobre la adquisición de conocimientos es un empirismo ingenuo (Pozo 1987) según el cual éste es simplemente una copia de la realidad que se adquiere a través de los sentidos y que se almacena en la memoria según las leyes de la asociación. Por tanto, el fundamento psicológico básico de estos modelos es considerar al alumno como "tábula rasa" sobre el que pueden imprimirse los conocimientos y el fundamento epistemológico es considerar la ciencia como un cuerpo cerrado de conocimientos que crece por acumulación.

Esta concepción sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje supone no incorporar al mismo las investigaciones que, en los últimos años, se han venido realizando sobre diversos aspectos de la mejora del proceso, especialmente los procedentes del campo de la psicología cognitiva y de la didáctica de las Ciencias.

Por ello, los logros del aprendizaje obtenido con este currículum se caracterizan, según la investigación didáctica, por lo siguiente:

- Un decrecimiento del interés hacia las ciencias conforme se avanza en su estudio (James y Smith 1985, Yager y Penick 1986)) e incluso una actitud, a veces negativa, de rechazo, hacia el conocimiento de algo que les parece ajeno, a lo que no encuentran utilidad (Vilches 1994).

- Una imagen de la ciencia desconectada de los problemas reales del mundo que ignora la estrecha relación entre el conocimiento científico y otros campos como la filosofía, la ética o la economía (Vilches 1994).

- Una concepción de la Historia de las Ciencias y Epistemología alejada de los planteamientos didácticos necesarios para aprender de forma significativa. Así, trabajos publicados en los últimos años manifiestan cómo los programas de ciencias que han tratado de introducir la Historia de las Ciencias lo han hecho limitándose a:

- realizar un estudio cronológico de descubrimientos científicos,
- contar anécdotas que suelen ser inmediatamente caricaturizadas,
- presentar breves biografías de “sabios”, (Guisasola, 1996).

- Metodologías de enseñanza que estimulan y recompensan la memorización mecánica de conocimientos y métodos que, por el contrario, infravaloran la capacidad de utilizar los procedimientos adecuados que conduzcan a la comprensión científica (Reif y Larkin, 1994). Entre otras razones, este tipo de memorización, resulta el único vehículo posible que el alumnado dispone para poder "aprobar" la materia, al encontramos, en diversas ocasiones, contenidos inadecuados para la edad que son olvidados fácilmente al no comprenderse. Así, es fácil encontrar en libros de 7º y 8º de EGB conceptos de difícil comprensión en estas edades, tales como, p.e., campo y potencial eléctrico, modelo cuántico, teoría de enlaces, etc.

Por tanto, podemos afirmar que el currículum tradicional no es útil para cumplir las finalidades y objetivos correspondientes a la nueva concepción sobre la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.

2.3. APORTACIONES DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS A LA DETECCIÓN DEL FRACASO ESCOLAR EN LA CONSECUCCIÓN DE APRENDIZAJES SIGNIFICATIVOS.

Existe bastante unanimidad en considerar que la publicación de la tesis de Viennot (1976), en la que se mostró que un porcentaje importante de estudiantes universitarios de Física utilizaban razonamientos espontáneos propios de una Física aristotélica a pesar de que dominaban la clásica, supuso la toma de conciencia generalizada, entre el colectivo de investigadores en didáctica, sobre la existencia de un grave problema didáctico. La posterior detección de que algunos de estos conceptos erróneos eran compartidos por profesores en activo (Carrascosa et al 1991), aumentó el interés sobre este tema. Tal es así, que desde hace unos veinte años, en prácticamente todas las revistas especializadas, se han publicado algún artículo sobre este tema.

La amplia bibliografía recopilada por Pfund y Duit (1993) y las numerosas revisiones y selecciones publicadas en la revista *Enseñanza de las Ciencias* (Carrascosa 1983 y 1985, Furió 1986, Cervantes 1987, Jiménez 1987, Serrano 1987, Perales y Nievas 1988, Manrique, Varela y Favises 1989; Carrascosa y Gil 1992; 1993), así como en la revista *Alambique* (nº 7, Enero, 1996) y las tesis doctorales realizadas en nuestro país en donde de una u otra forma, la investigación sobre este tema ha sido el eje fundamental de la investigación (Gené 1986; Solbes 1986; Carrascosa 1987; Llorens 1987; Jiménez 1989; Sanmartí 1989; Cañal 1990; Azcárate 1990; Guisasola 1996), son un claro exponente de la importancia que se ha dado al tema.

Todo ello justifica que, en la actualidad, se haya configurado toda una línea de investigación denominada *movimiento de las concepciones alternativas* que tiene por objeto el estudio y transformación de las ideas previas de los estudiantes en contextos científicos concretos (Furió 1996).

Tal cantidad de trabajos ha supuesto la existencia de una terminología muy diversa. Autores como Abimbola (1988) llega a señalar hasta veintiocho términos diferentes: “Ideas erróneas o errores conceptuales”, “teorías ingenuas”, “razonamientos espontáneos”, “concepciones alternativas”, “ciencias de los niños”, “teoría del sentido común”, etc.

A pesar de esta disparidad terminológica, parece que en la actualidad hay un cierto consenso en utilizar la expresión *concepciones alternativas*. Según Wandersee y cols. (1994), tras esta denominación se esconde una hipótesis implícita que tiene como fondo una visión interactiva y evolutiva del proceso de aprendizaje, puesto que según estos autores, el profesorado busca métodos eficaces de enseñanza que les permita, no sólo conocer lo que los estudiantes saben sobre la temática que queremos enseñar, sino también cómo los alumnos aprenden ciencia y qué estrategias didácticas son las más adecuadas para favorecer su desarrollo conceptual. Es decir, que puede decirse que el punto de partida es la cultura ordinaria y el término es adquirir la cultura científica, lo que justifica que se hable de “movimiento de las concepciones alternativas...hacia las científicas”.

Ahora bien, estas primeras investigaciones aportan resultados demostrativos de la ineficacia del proceso de enseñanza-aprendizaje, suficientes como para propiciar una reflexión y un análisis sobre los supuestos teóricos en los que se fundamentan los métodos de enseñanza utilizados y buscar otros alternativos que logren mejorar el aprendizaje. Así lo reconocen algunos expertos:

"Lo verdaderamente preocupante, es que muchos de estos errores conceptuales, son capaces de sobrevivir a la enseñanza que teóricamente, tendría que eliminarlos"
(Astolfi 1978)

"La gran amplitud con que son retenidos los errores conceptuales, puede estar diciéndonos algo muy importante acerca de nuestros alumnos y métodos de enseñanza." (Helm 1980).

"Para estar en condiciones de eliminar los errores conceptuales, es preciso averiguar sus orígenes, haciendo investigaciones detalladas... A la luz de dicho análisis es necesario averiguar cuales son las mejores estrategias educacionales para lograr un aprendizaje verdaderamente efectivo que reduzca sensiblemente los errores conceptuales" (Helm 1980)

"Algunos de estos errores conceptuales prevalecen ampliamente entre nuestros profesores de escuela secundaria. Estos, difícilmente pueden ayudar a sus estudiantes a que adquieran ideas correctas, hasta que ellos mismos no hayan sido ayudados" (Arons 1980).

"Los altos porcentajes de errores conceptuales y las pocas mejoras producidas tras la aplicación de la enseñanza convencional, nos está señalando la poca efectividad de este tipo de enseñanza tradicional (expositiva) para solucionar el problema. Nuestras medidas muestran incluso que a pesar de los esfuerzos para mejorar dicha enseñanza estos no parecen tener efecto positivo alguno sobre el mismo" (Halloun y Hestenes 1985)

"Desafortunadamente existe evidencia de que algunas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando la enseñanza ha sido deliberadamente estructurada para incorporar o confrontar las ideas de los niños. Se hace pues necesario una mayor investigación para diseñar estrategias de enseñanza más adecuadas con las cuales tratar el problema" (Engel y Driver 1986).

La primera conclusión a la que se llegó, tras analizar los resultados de estas investigaciones, fue considerar que los alumnos no son una "tábula rasa" y

que llegan al aula con ideas preconcebidas que ejercen una importancia decisiva en el proceso de aprendizaje.

La mayoría de los estudios sobre este tema, procedentes de campos muy diversos, coinciden básicamente en aceptar la existencia de estas preconcepciones alternativas con categorías de conocimientos precientíficos, fruto la mayoría de las veces de una epistemología de “sentido común” cuya evolución no es sencilla (Gil et al, 1991). El reconocimiento de la importancia que estas concepciones alternativas tienen ha hecho que sean muchos investigadores que también, desde el campo de la psicología, se hayan dedicado a estudiarlas, como se ha recogido ya en la exposición de algunas de las opiniones expuestas anteriormente. Furió (1994b), resume las características de estas concepciones alternativas de la forma siguiente:

a) Parecen dotados de una cierta coherencia interna en el sentido de que no existen de forma aislada sino constituyendo verdaderos esquemas conceptuales.

b) Son comunes a estudiantes de diferentes medios, edades, géneros e incluso culturas.

c) Son persistentes y no se modifican fácilmente con estrategias de enseñanza convencionales.

d) Presentan a menudo isomorfismos con concepciones vigentes a lo largo de la historia del pensamiento científico y filosófico.

e) El conocimiento anterior de los alumnos interacciona con el que se enseña en clase y es de esperar consecuencias imprevistas en el aprendizaje.

f) Los orígenes de estas preconcepciones son debidas a experiencias personales muy variadas que incluyen la percepción, la cultura de los iguales, el lenguaje, los métodos de enseñanza, las explicaciones de los profesores y los materiales educativos.

Ahora bien, debe tenerse en cuenta que estas características corresponden sólo a un tipo determinado de conocimientos previos, -los que han sido fundamentales para destacar la influencia que tienen en el aprendizaje debido a que están fuertemente asumidos en la estructura cognitiva del estudiante-; pero, existen lógicamente otros,- algunos de los cuales son coincidentes con los conceptos científicos- que no están tan arraigados por lo que no debe resultar tan difícil modificarlos. Tanto unos como otros tienen implicaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje por lo que ambos son necesarios conocerlos.

Por esa razón, averiguar las ideas de los estudiantes sobre los contenidos que van a enseñárseles, así como su procedencia, constituye una de las fases imprescindibles para plantear estrategias didácticas dirigidas a conseguir aprendizajes significativos.

De las implicaciones que el conocimiento de estas concepciones preliminares tienen para el proceso de enseñanza-aprendizaje ya encontramos algunos precedentes como Bachelard que en el año 1938 decía:

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

A continuación seleccionamos algunas opiniones de expertos que permiten comprender la importancia que el conocimiento de las concepciones alternativas tienen para cualquier metodología de enseñanza que pretenda lograr aprendizajes significativos:

"Los razonamientos espontáneos se hallan extraordinariamente difundidos, representando una manera de pensar que se encuentra en cada conversación y en muchas lecturas. Todos

nosotros, de vez en cuando, razonamos de esta forma o por lo menos lo hemos hecho alguna vez" (Viennot, 1979)

"El alumno que inicia un nuevo aprendizaje escolar lo hace siempre a partir de los conceptos, concepciones, representaciones y conocimientos que ha construido en el transcurso de sus experiencias previas, utilizándolos como instrumento de lectura e interpretación que condicionan en alto grado el resultado del nuevo aprendizaje" (Coll 1986)

"El aprendizaje de las ciencias es complejo: el alumno ha de adquirir nueva información, reorganizar el conocimiento existente e incluso abandonar ideas profundamente asumidas (...) La analogía entre el aprendizaje individual y el cambio conceptual en las disciplinas científicas ha sido fructífera y ha proporcionado un marco adecuado de análisis del aprendizaje de las ciencias" (Hewson 1981).

Ahora bien, entre las distintas manifestaciones que han surgido referentes a la existencia de las concepciones alternativas y a la importancia que éstas tienen en el aprendizaje, la frase de Ausubel (1978) es la que la refleja de forma más categórica, frase que se ha convertido en verdadero slogan para magnificar esta importancia:

"Si tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio enunciaría éste: de todos los factores que influyen en el aprendizaje el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto y enséñese en consecuencia".

Pozo et al (1991) consideran que, desde el punto de vista psicológico, hay tres cuestiones esenciales cuyas respuestas condicionan de forma sensible tanto los posibles recursos didácticos más eficaces para la enseñanza de las ciencias

como también la organización y secuenciación de los contenidos del currículo de esta área del conocimiento. Éstas son:

- qué tipo de ideas tiene el alumnado y de dónde proceden,
- cómo se organizan esas ideas en la mente de los alumnos y alumnas, y
- cuáles son los mecanismos de cambio de esas ideas.

Por tanto, conocer posibles fuentes de procedencia de las ideas previas es un dato necesario para el profesorado que desee enseñar con eficacia. Una de ellas es la observación que los alumnos y alumnas realizan de los sucesos cotidianos ligándolos a conceptos científicos y que por generalización inductiva se llega a ideas muchas de ellas erróneas (abstracción física, según Rowell y Dawson 1989). Estas concepciones alternativas suelen ser persistentes al cambio por estar fuertemente arraigados en sus mentes, ya que se han ido formando a lo largo de toda su experiencia vivencial. Otro origen de ideas previas la constituye la influencia de la cultura y la sociedad, dado que ésta constituye otra fuente de conocimientos. En ocasiones, la sociedad utiliza un tipo de lenguaje que transmite unos significados no coincidentes con los que se les dan en la cultura científica (Llorens 1991). Se producen así otro tipo de errores conceptuales algunos de los cuales resultan resistentes por su utilización diaria tanto del propio alumno como de los medios de comunicación social.

Según Gil (1991) los resultados de las investigaciones sobre concepciones alternativas no sólo mostraron la existencia y persistencia de errores conceptuales, sino que además fue el detonante básico que sirvió para que la comunidad de investigadores en educación se planteasen la búsqueda de paradigmas diferentes al que se venía utilizando usualmente y se ampliaran las investigaciones a otras líneas didácticas.

Una de las primeras fue la de resolución de problemas de lápiz y papel. El fracaso, en una de las actividades más frecuentes en la clase de Física y Química, es otro síntoma sobre la ineficacia del paradigma de enseñanza-aprendizaje por

transmisión-recepción de los conocimientos. En efecto, los resultados de las investigaciones sobre la resolución de problemas (Gil Y Martínez Torregrosa 1984, Martínez Torregrosa 1987, Ramírez 1990, Reyes 1991) muestran que en la enseñanza habitual los problemas son también “explicados”, ocultando al alumno todo el proceso de incertidumbre y búsqueda inherente a la resolución de cualquier problema. Así mismo, el profesor actúa de forma lineal, comportándose como quien no resuelve problemas sino como quien muestra soluciones ya hechas de cuyo resultado, en consecuencia, no es necesario dudar. Por ello, la solución de un problema no idéntico a los resultados en clase es percibida por los estudiantes como fruto de una intuición inmediata sólo al alcance del profesor o de los alumnos más dotados. Su actuación ante estas tareas vendrá condicionada por el contexto didáctico es decir por el tipo de enseñanza y si ésta le ha habituado a un aprendizaje de tipo mecánico donde debe repetir soluciones, su conducta será, en general, dicotómica: o reconoce de modo inmediato el problema y pasa rápidamente a resolverlo o, por el contrario, abandona su solución esperando la del profesor.

También las investigaciones realizadas sobre la forma con la que se abordan los trabajos prácticos en la enseñanza tradicional han venido a converger en las causas del fracaso en lograr aprendizaje significativos. Según estos trabajos se ha detectado que de forma mayoritaria los trabajos prácticos son desarrollados siguiendo simples "recetas" que en nada favorecen ni familiarizan realmente a los estudiantes con características esenciales de la metodología científica. En efecto, esta forma de realizar las prácticas de laboratorio tienen como objetivo esencial ilustrar la transmisión verbal de los conocimientos y no encontraremos en ellos tareas que lleven p.e. al enunciado preciso del problema, la emisión de hipótesis o la elaboración del diseño experimental por los propios estudiantes. En realidad, en la enseñanza habitual, los trabajos prácticos se reducen casi exclusivamente a tareas de tipo manipulativo, muy lejos de lo que es

el conocimiento procedimental en términos de razonamiento y por tanto no se aproxima a los alumnos y alumnas a las características propias del trabajo de investigación (Payá 1991).

En resumen, la enseñanza por transmisión ordenada de los conocimientos científicos elaborados es lógico que no logre evitar el fracaso escolar en el aprendizaje de conceptos y que no se consiga disponer de las estrategias y procedimientos para resolver problemas cuyo enunciado les resulta nuevo, por lo que será necesario encontrar otras estrategias metodológicas que mejore el aprendizaje tanto en su aspecto conceptual como en el procedimental.

2.4. APORTACIONES DE LA PSICOLOGÍA DE LA EDUCACIÓN A LA CONCRECIÓN DEL CURRÍCULUM.

Como ya hemos señalado, los resultados de las investigaciones, principalmente, sobre las concepciones alternativas, pusieron de manifiesto las dificultades en el aprendizaje de los alumnos, lo que propició que se realizasen estudios dirigidos a conocer cuáles son los mecanismos por los que una persona aprende conocimientos y cuáles pueden ser los modelos de enseñanza adecuados para lograrlo.

Es obvio que cada vez se dispone de más conocimientos sobre cómo el estudiante aprende los contenidos escolares y sobre cómo los profesores y profesoras pueden ayudar mejor a que estos aprendizajes sean más sólidos, más profundos y más significativos (Coll, 1993).

El interés por conocer la naturaleza del pensamiento humano es un problema que siempre ha interesado al hombre, lo cual supone, entre otras cosas, averiguar los procesos por los cuales los individuos adquieren las capacidades intelectuales, lo que tiene una relación directa con el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por esa razón la mejora de ese proceso no puede realizarse sin conocerse las aportaciones de las investigaciones que en este campo vienen

realizándose, especialmente desde la publicación de los trabajos de Piaget y sus colaboradores de la escuela de Ginebra.

Por tanto, es lógico admitir que los estudios de psicología sobre las capacidades intelectuales sean aportaciones al proceso general de enseñanza-aprendizaje. De entre los psicólogos que han trabajado este tema la figura de Piaget es, sin lugar a dudas, la que ha tenido una mayor incidencia.

Piaget, como psicólogo, no estaba interesado directamente en la problemática educativa sino que su problema principal era averiguar cómo se pasa de un estado de menor conocimiento a otro de mayor. Esta problemática le conduce a elaborar una teoría del desarrollo que describe la evolución de las competencias intelectuales desde el nacimiento hasta la adolescencia. Dado que la adquisición de nuevos conocimientos depende, en parte, de la capacidad intelectual es obvio que el conocimiento de ésta tendrá una influencia directa en la enseñanza.

La epistemología genética considera que el desarrollo intelectual consiste en la construcción de estructuras cognitivas progresivamente más equilibradas y completas. Como esta tendencia tiene una base fundamentalmente biológica posee un carácter universal y, por tanto, independiente de las características específicas del medio en el que tiene lugar el desarrollo del individuo.

Piaget considera que el desarrollo intelectual no es lineal y que existen estadios evolutivos caracterizados por estructuras determinadas de pensamiento que definen una organización mental. Estas estructuras intelectuales se traducen en unas determinadas posibilidades de razonamiento y de aprendizaje que dependen de la interacción con el exterior (experiencia del sujeto). Dada la base biológica, a la que aludíamos anteriormente, estos estadios son relativamente universales en su orden de aparición, asociándolos con una determinada edad independientemente de otros factores ligados a la situación personal de los individuos. Los grandes estadios que define son: sensoriomotor: 0-2 años,

intuitivo o preoperatorio 2-6/7 años, operatorio concreto 7-10/11 años y operatorio formal 11-14/15 años.

En consecuencia, para Piaget y sus colaboradores el objetivo esencial de la educación debe ser alcanzar el mayor grado de desarrollo posible del individuo, por lo que los contenidos no tienen interés por sí mismos sino en función de que contribuyan o no a favorecer este desarrollo intelectual. Puesto que la memorización no comprensiva, la acumulación de conocimientos y la aceptación no razonada de normas y valores, no favorecen el desarrollo e incluso pueden llegar a obstaculizarlo o a impedirlo (Coll, 1987). La metodología de enseñanza propuesta, debe evitarlos y basarse esencialmente en el análisis y la crítica razonada.

Para llegar a emitir la teoría de los estadios evolutivos, Piaget y sus colaboradores de la escuela de Ginebra, utilizan estrategias que les permita conocer la capacidad operatoria de los niños y niñas en las distintas edades; pues ello supondrá seleccionar contenidos en función de dicha capacidad. Así, la emisión de hipótesis y su verificación, a través del control de variables, no es posible hasta que los alumnos y alumnas se encuentran en la etapa que denomina pensamiento formal, por lo que la comprensión y utilización del método científico como instrumento para resolver situaciones problemáticas en las que intervienen varias variables deben reservarse hasta la edad en la que se supone que se encuentran en el nivel cognitivo mencionado.

Los datos que permiten emitir su teoría los recoge a través de investigaciones consistentes esencialmente en la realización de entrevistas clínicas y en el análisis de las respuestas a ítems, contestados por un número suficiente de estudiantes de distintas edades y a través de conceptos relacionados con el currículum escolar, fundamentalmente de matemáticas y ciencias.

Estas mismas estrategias se utilizarán posteriormente por la investigación didáctica, por lo que tanto por su teoría como por las estrategias utilizadas en las

investigaciones, a Piaget se le considera como el gran precursor de las investigaciones que se generaron a partir de la década de los 70 ya comentadas.

Ahora bien, las aportaciones de una teoría no finalizan cuando ésta se ha emitido sino que continúa a través de las aportaciones que los colegas realizan con posterioridad bien para reafirmar, enfatizar o criticar los supuestos teóricos en la que se basa.

Las críticas a la teoría piagetiana se han dirigido a varios de sus supuestos. Una de ellas ha sido al hecho de considerar el desarrollo operatorio como un objetivo último de los aprendizajes escolares. J. S. Bruner (1984) afirma que ello supone olvidar que la función esencial de la escuela y de todo el sistema educativo es la de transmitir a las futuras generaciones los conocimientos y valores que la sociedad considera importantes para su desarrollo y supervivencia.

Otra va dirigida a las edades en las que la teoría piagetiana considera que se produce el cambio de estadio cognitivo ya que se considera que ello sólo pueden ser indicativas debido a que ésta puede variar mucho de una cultura a otra, de una sociedad a otra, e incluso de un individuo a otro.

Otra crítica que ha tenido importantes consecuencias ha sido la consideración de que resulta imposible la generalización de los estadios evolutivos, al demostrarse que dependen de la tarea que se realice por el sujeto. Éstos, no son independiente de los contenidos y podemos encontrar con individuos que pueden convertirse en expertos en ciertas tareas a la vez que son ignorantes en otras. Una consecuencia de esta aportación ha sido que las investigaciones que se vienen realizando en este campo de la psicología se hagan siempre sobre contenidos de una temática determinada para aplicar los resultados detectados a ella.

Otra de las ideas que ha sido contestada es la que considera al alumno como una mente bastante homogénea. Pues, si bien es cierto que Piaget y sus colaboradores han mostrado suficientes datos en los que puede comprobarse la

existencia de regularidades significativas en el trabajo intelectual de los alumnos y alumnas ante fenómenos distintos, también es cierto que últimamente numerosas investigaciones han venido a arrojar serias dudas sobre la propia existencia de estadios en el desarrollo cognitivo y más concretamente sobre la existencia del estado operacional formal. Esto ha supuesto que la imagen del alumno haya pasado de poseer un sistema cognitivo organizado y predecible a disponer de un número no determinado de concepciones, poco conectadas entre sí y, por tanto, difícilmente predecibles (Gómez et al, 1992).

Las numerosas investigaciones realizadas sobre las concepciones alternativas han contribuido también a que algunos autores consideren que las personas nos regimos más por criterios de conveniencia pragmática que de coherencia lógica. Así, Tversky y Kahneman (1974) señalan que las personas, en lugar de usar reglas formales rigurosas para razonar, solemos utilizar reglas aproximativas de carácter más bien intuitivo que nos ayudan a cerrar tareas complejas o a alcanzar conclusiones en situaciones inciertas en las que la aplicación de un análisis lógico sistemático sería muy costosa, estas reglas aproximativas nos alejarían de las conclusiones formales correctas pero serían pragmáticamente útiles en la vida cotidiana.

Ahora bien, uno de los autores que más ha contribuido a la enseñanza a través de sus teorías no coincidentes con las de Piaget ha sido Vygotsky (Castorina 1996). Este autor se interesó por conocer la manera de entender el vínculo entre aprendizaje y desarrollo y estudió las relaciones entre lenguaje y pensamiento así como sobre la adquisición de conceptos científicos. En realidad este autor se adelanta a la idea, actualmente defendida por otros que consideran que el trabajo de Piaget y sus colaboradores, al centrarse únicamente en una perspectiva individual, olvidaba el hecho de que cualquier conocimiento se genera en un contexto social y cultural que impide generalizar a toda la población los resultados obtenidos en sus investigaciones. Vygotsky dice (1962): "*Nuestro*

desacuerdo con Piaget se centra sólo en un punto, pero éste es sumamente importante. Él afirma que el desarrollo y la instrucción son procesos insuficientes y totalmente separados que la función de la instrucción es sólo la de introducir formas adultas de pensamiento que entran en conflicto con las de los niños y eventualmente las suplantán. El estudiar el pensamiento infantil aparte de la influencia de la instrucción, como lo hace Piaget, excluye una fuente de cambio muy importante e impide al investigador enfocar la cuestión de la interacción del desarrollo y la instrucción peculiares a cada nivel de edad".

La constatación, anteriormente señalada, de la existencia de las concepciones preliminares, algunas fuertemente arraigadas, como consecuencia de su propio proceso cognitivo, también ha tenido una gran repercusión en las teorías psicológicas sobre el aprendizaje, ya que ello supone oponerse a la coherencia y homogeneidad de los estadios cognitivos de los individuos defendida en la teoría piagetiana y aceptar la idea general de Vygostky relativa al aprendizaje de los conceptos. Esta línea supone dar un énfasis mayor a los conocimientos específicos que a las estructuras cognitivas generales que estudiaba Piaget.

Las implicaciones que este conocimiento puede tener, tanto para conocer los procesos cognitivos implicados en el pensamiento como para lograr un aprendizaje más efectivo, ha hecho que tanto psicólogos como investigadores en didáctica trabajen en la misma línea y se mezclen de tal forma que sea casi imposible discernirlos encontrándonos en la actualidad, equipos de investigadores en los que hay especialistas en ambas.

2.5. ANÁLISIS HISTÓRICO Y EPISTEMOLÓGICO DE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

Ya hemos mencionado la importancia que en la actualidad se le da al papel que la Historia y la Filosofía de la Ciencia ejercen en la mejora de la enseñanza, como lo demuestra los abundantes trabajos publicados en los últimos años (Gruender y Tobin 1991; Burbules y Linn 1991; Matthews 1991; Bizzo 1993; Solbes y Traver 1996). Éstos presentan el interés de que no se limitan a aconsejar su introducción en los currícula de Ciencias sino en que aportan datos suficientes para enriquecer las orientaciones constructivista del aprendizaje.

Las aportaciones que realizan se centran en aspectos que permiten ayudar al alumnado a construir sus propias concepciones sobre la Ciencia y a servir como medio para motivarlos. Se ha comprobado que existe una relación entre los resultados de los estudiantes, en una determinada disciplina, y la representación que tienen de la misma en cuanto a sus objetivos, métodos, etc.

Por otra parte, la contextualización histórica de las teorías científicas permiten mostrar cómo éstas son puestas en cuestión, reelaboradas y sometidas a la crítica del pensamiento y de la experiencia (Kuhn 1971, Lakatos 1982, Gilbert y Meloche 1993). Esto implica resaltar el papel del debate, la controversia y el conflicto en la producción de teorías científicas, en contraposición con la enseñanza tradicional que realiza una presentación de los conceptos “acabados”.

Pero también hay otra circunstancia, ya comentada, que tiene consecuencias claras para la enseñanza. Ésta es el cierto paralelismo existente entre la construcción de algunos conceptos del conocimiento científico en la historia de la humanidad y la mente del estudiante. Hay abundantes trabajos de investigación (Wandersee 1992, Cagliardi 1988, Bizzo 1993) que sugieren que el desarrollo de los conceptos de una teoría a lo largo de un período histórico y el desarrollo de los mismos, a nivel individual, pueden tener ciertas similitudes

funcionales. Es decir, que las dificultades que tienen los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos científicos pueden parecerse a las que se presentaron en el desarrollo de las teorías a través de la historia.

Por tanto, puesto que el presente trabajo tiene como marco concreto de aplicación la naturaleza corpuscular de la materia, antes de enunciar la hipótesis pertinente, se hace necesario un análisis sobre las características de los contenidos del tema desde el punto de vista tanto histórico como epistemológico. Este análisis es el que nos permitirá conocer cuáles pueden ser algunas de las dificultades de aprendizaje que tendrá el alumnado y, consecuentemente, diseñar experiencias que permitan contrastar esta hipótesis así como tenerlas presente en la propuesta metodológica preparada para la mejora de su aprendizaje (2ª hipótesis).

La naturaleza corpuscular de la materia forma parte del núcleo básico de la teoría química y ésta tiene como objetivo básico la explicación de las transformaciones materiales que se presentan en la naturaleza, para ello es necesario conocer la materia objeto del cambio y cómo se producen estas interacciones. Esto supone que confluyen dos niveles posibles que justifican ese comportamiento: uno, caracterizado por la descripción de los aspectos macroscópicos perceptibles y, otro, de explicación o interpretación al introducir un modelo submicroscópico. Como señalan Ben Zvi et al. (1982), la correcta coordinación entre los dos niveles de descripción macroscópico y de interpretación atómico-molecular es esencial para una adecuada iniciación en el estudio de la Química. De hecho la evolución de la Química, como ciencia que estudia la materia y sus cambios, puede describirse como la construcción de modelos de materia cada vez más inclusivos y complejos íntimamente relacionados con el conjunto de hechos experimentales que son capaces de explicar y predecir. No es extraño, pues, comprobar que uno de los principales objetivos educativos de la mayor parte de los currícula de Ciencias de la

enseñanza básica consista en que los alumnos logren entender el modelo de partículas de la materia .

Por esa razón, cuando Dalton y contemporáneos consiguen relacionar el mundo de los fenómenos macroscópicos con un modelo de materia, a través de la teoría atómica, consigue un logro trascendental para el desarrollo de esta disciplina científica, de forma que la publicación de esta teoría marca un hito en la historia del pensamiento científico.

Por otra parte, la historia del desarrollo y aceptación gradual en la Ciencia de la teoría atómica de la materia resultó admirable por muchos aspectos y resulta difícil encontrar en esta historia un ejemplo mejor para mostrar un esquema conceptual que surge de la labor de generaciones (exposiciones de observaciones experimentales ampliamente difundidas, hipótesis sutiles, aproximaciones simplificadoras, errores detectados, intuiciones penetrantes y aparato matemático) (Holton y Roller, 1984).

Pero tal como anteriormente hemos mencionado la teoría atómica supone relacionar el mundo macroscópico con el de las partículas, ya que aquella debía dar respuesta al comportamiento perceptible de la materia y en ese tema el esclarecimiento de los gases, como materia, fue uno de las aportaciones claves que sirvieron de base, particularmente, a la hipótesis molecular. Tal como reconoce Kuhn (1971), la ruptura epistemológica del paradigma precientífico se establece, entre otras cosas, a partir del nacimiento y desarrollo de la llamada química neumática a través de la cual se logró concebir a los gases como sustancias materiales que pesan, en cuanto que tienen masa. Ello permitió explicar la participación de gases como el oxígeno en las reacciones de combustión que fue otra de las ideas básicas que propiciaron el cambio paradigmático.

Por otra parte, dado que el conocimiento de la Historia permite averiguar cómo han evolucionado las teorías científicas, lo que ayuda a saber cuáles han

sido las ideas básicas que han permitido su definición, así como aquellos obstáculos que impedían su desarrollo vamos, a continuación, a señalar cómo se produjo la evolución de estos hechos básicos que condujeron a admitir que los gases tienen peso.

Para llegar a esa idea debemos remontarnos a la concepción aristotélica de la constitución de la materia y al significado de peso en esta filosofía que ya citamos en el capítulo I. Según ésta todo cuerpo estaba formado por los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego que no se correspondían con el concepto daltoniano de elemento químico como sustancia material que formaba parte de la composición de toda la materia (Bullejos, de Manuel y Furió, 1993). Es sabido que los elementos, según la tradición aristotélica, tenían, por una parte, características materiales que explicaban cualitativamente las propiedades físicas de las "mezclas" (se aceptaba que cualquier sistema material natural era una mezcla de elementos) y, por tanto, tenían caracteres metafísicos dado que no tenían existencia real, como tales. p. e. el elemento agua, no debía confundirse con el agua natural, concebida como una mezcla que tenía el mayor porcentaje del elemento agua pero que también contenía aire y tierra. Estrechamente ligada a esta teoría se encuentra la del lugar natural, ya que para Aristóteles, en contraposición a la escuela eleática, el principal objeto de estudio era el cambio local (movimiento) de la materia que era lo único que tenía existencia "real". Es decir, cada objeto material, según su composición, en cuanto a los cuatro elementos, tiende a ocupar su posición natural en el mundo terrestre imperfecto (Gil 1983).

Por lo tanto, el aire como elemento aristotélico debía situarse por encima del agua y de la tierra y debajo del fuego. El peso estaba relacionado con esa tendencia a ocupar su lugar natural, de manera que la tierra era "pesada" porque en estado libre tendería a caer, ya que su lugar natural era la esfera terrestre. Por otra parte, la ligereza, como propiedad antagónica, era una característica relativa

del aire que tendía a elevarse por encima de la tierra y del agua, por lo que los cuerpos más ligeros deberían tener en su composición, fundamentalmente, aire. En este edificio conceptual era coherente pensar que la tendencia a adquirir el lugar natural dependía de la mayor o menor cantidad de sustancia, entendida como peso del cuerpo; por ello, no es de extrañar que, tal como ya se dijo en el capítulo anterior, durante un gran período de tiempo se entendiera como herejía la afirmación de que el aire pesaba (Davy, 1976).

Por otra parte, y aceptando la existencia de un cierto paralelismo entre el desarrollo cognitivo y el modo de producción de los conocimientos científicos en la concepción sobre la materialidad de los gases, no es de extrañar comprobar como la mayor parte de los niños de 10 años opinan que los gases no pesan (Furió y Hernández 1983) o que crean que los vapores o los gases no tienen peso (Leboutet-Barrel, 1976) o que pongan en duda la materialidad de los gases en situaciones estáticas, es decir que no tienen inconveniente en asumir la existencia del viento, al notar sus efectos y sin embargo existen muchas dificultades en hacerlo con la presión atmosférica (Seré 1982). De hecho los trabajos de Torricelli fueron considerados cruciales en la evolución del conocimiento físico dado que además de imaginar y demostrar la existencia de la presión atmosférica sirvió para cuestionar la hipótesis del "horror al vacío" que tenía la Naturaleza. Por tanto, sirvió para mostrar precisamente la existencia de dicho vacío al tiempo que se aceptaba que vivíamos en un "mar de aire" que ejerce una presión (pesa) sobre nosotros mismos.

Ahora bien, una vez comprendida la materialidad de los gases, así como el comportamiento perceptible de los mismos, hay que pasar a la parte interpretativa que conduce a la noción de que toda la materia está compuesta de partículas y, por tanto, no es continua. Cuestión de primordial importancia para toda explicación causal de cualquier tipo de cambio material, y que, como ya se ha indicado, fue producto de un laborioso proceso que se remonta al tiempo de las

primeras especulaciones filosóficas que se recuerdan a través de dos hipótesis concernientes a la continuidad o discontinuidad de la materia que estuvieron presentes prácticamente en todos los momentos de debate acontecidos hasta llegar a la aceptación de la teoría de Dalton.

Por tanto, el estudio y la comprensión de la naturaleza corpuscular de la materia supone tener que asumir algunas ideas difíciles de aceptar por el "sentido común", tal como la historia de la Ciencia y las investigaciones han puesto de manifiesto, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Entre las primeras nos encontramos con conceptos científicos aparentemente contrarios a las observaciones y evidencias "naturales" de la vida cotidiana, como p.e. la idea de que los gases no pesan al observar el ascenso del "humo", lo que aparentemente es contrario a las leyes naturales de los cuerpos "propriadamente" materiales que tienden a ir "hacia abajo". Esto conduce a una idea de gas como algo "sustancial" que apenas tiene estatus material en la mente del alumno debido precisamente por la dificultad de percibirlos a través de la vista o del tacto (Furió, Hernández y Harris 1987).

En cuanto al modelo submicroscópico, capaz de justificar el comportamiento macroscópico observado, también nos encontramos con ideas aparentemente contrarias a las observaciones comunes. Así, la discontinuidad y el movimiento de partículas son ideas ligadas directamente con "el vacío" cuya existencia no es tan fácil de captar, pues las observaciones más comunes muestran la materia llamada "corpórea" (sólidos y líquidos) como algo continuo y estático.

2.6. ENUNCIADO DE LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL.

Resumiendo, los argumentos aducidos en este capítulo, nos encontramos ante la enseñanza de un tema que resulta fundamental para lograr un aprendizaje

comprensivo de la química con algunos contenidos conceptuales epistemológicamente difíciles de comprender en la edad a la que está dirigida, debido fundamentalmente a la existencia de percepciones "aparentemente" contradictorias con la realidad científica.

Por otra parte, hemos mencionado que la mayoría de los modelos de enseñanza que utiliza el profesorado en sus aulas no incorpora los resultados de la investigación didáctica y no tienen en cuenta las aportaciones que desde el campo de la psicología educativa se han venido realizando, por lo que es previsible considerar que el resultado es un aprendizaje mecánico o asociado de manera poco significativa.

Por tanto, la primera hipótesis de este trabajo se puede formular como sigue:

"La mayoría de los estudiantes de educación secundaria obligatoria que hayan recibido enseñanzas de la naturaleza corpuscular de la materia según modelos tradicionales de enseñanza, basados en el paradigma de transmisión-recepción de los conocimientos científicos previamente elaborados, no habrán aprendido éstos de manera significativa ni habrán adquirido actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje".

CAPÍTULO III

OPERATIVIZACIÓN Y DISEÑOS DE LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL

En el capítulo anterior se ha enunciado la primera hipótesis principal de este trabajo. Ésta predecía la ineficacia que la aplicación de un currículum tradicional tendrá en la consecución de aprendizajes significativos de la naturaleza corpuscular de la materia. Se argumentaba que las estrategias didácticas con las que habitualmente se enseña no tienen en cuenta las principales características de la metodología científica, proporcionando una visión simplista, aproblemática y ahistórica; tampoco tienen en cuenta las concepciones preliminares que el alumnado posee, por lo que no consideran las dificultades de aprendizaje que tienen los conceptos del tema citado.

En este capítulo se procederá a exponer el diseño programado para contrastar esta primera hipótesis. Para ello se ha operativizado mediante dos hipótesis derivadas, cada una de las cuales presenta diferentes consecuencias que deben ser todas ellas contrastadas.

3.1. OPERATIVIZACIÓN DE LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL.

La operativización de la hipótesis implica la enumeración y análisis de consecuencias contrastables dirigidas tanto al aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia logrado por los estudiantes de secundaria obligatoria, como al proceso de enseñanza que éstos han recibido. De ahí que una de las hipótesis derivadas se centre en el proceso de aprendizaje y la otra en la enseñanza, al considerar a ésta la causa principal de la falta de aprendizaje.

El enunciado de estas dos hipótesis derivadas es el siguiente:

A. Primera hipótesis derivada de H.1: *"Los conocimientos conseguidos por los alumnos y alumnas sobre la naturaleza corpuscular de la materia, al acabar la educación secundaria obligatoria serán poco significativos y próximos a sus concepciones preliminares".*

B. Segunda hipótesis derivada de H.1. *"La enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia gaseosa, a través de metodologías convencionales basadas en la transmisión verbal, no tendrá en cuenta las ideas, hábitos e intereses de los alumnos y alumnas de estos niveles educativos".*

Pasamos, a continuación, a describir, de un modo más detallado, cada una de estas dos hipótesis derivadas, lo que permitirá profundizar en las mismas y deducir consecuencias que puedan ser contrastadas directamente.

3.1.1. Operativización de la primera hipótesis derivada.

Para encontrar posibles consecuencias coherentes con el enunciado de esta primera hipótesis derivada se ha tenido en cuenta tanto los objetivos básicos como las dificultades extraídas del análisis histórico y epistemológico realizado sobre la naturaleza corpuscular de la materia y apoyados en otros trabajos de investigación relacionados con este tema. Las dificultades encontradas se han agrupado en dos bloques, uno relativo a las ideas que tienen los estudiantes del comportamiento macroscópico de los gases y otro relativo a la posible interpretación submicroscópica de aquel comportamiento.

Respecto al primer bloque se han buscado consecuencias derivadas de la materialidad de los gases, relacionando ésta con la masa y el peso; mientras que en el segundo bloque se han buscado consecuencias derivadas al interpretar microscópicamente propiedades macroscópicas conocidas. Por último, se ha buscado una que relacione ambos tipos de descripción. En total, esta operativización de la primera hipótesis derivada consta de 6 consecuencias.

Pasemos a continuación a concretar estas consecuencias.

A.1. Dificultades en asumir la materialidad de los gases al mismo nivel que los sólidos y líquidos.

La Historia de la Ciencia muestra las dificultades que la Comunidad Científica tuvo que vencer hasta llegar a asumir una concepción material de los gases. Prueba de ello es el tiempo que pasó desde que los primeros pensadores griegos abordaron el tema hasta el momento en que llega a aceptarse en el s. XVIII.

El camino hacia la naturaleza corpuscular de la materia se desarrolla a partir de la correcta descripción del estado gaseoso y es precisamente la materialidad de los gases el primer gran eslabón que debe superarse.

Recordemos que Khun (1971) señalaba que la aceptación de los gases como materia supuso el comienzo del desarrollo de la química neumática. Según el mismo manifiesta, constituyó uno de los elementos claves que condujo al nacimiento del paradigma químico clásico. Recordemos, también, que las aportaciones de los trabajos sobre los gases durante dos siglos fue fundamental para el enunciado de la teoría atómica de la materia (Taton 1958).

Antiguamente a los gases se les consideraba como sustancias pero sin apenas masa, dotándoles de un carácter quasi-inmaterial (Taton 1958; Davy 1976), lo que se corresponde, de forma aproximada, con la idea que sobre éstos tienen los alumnos en edades correspondientes al inicio de la enseñanza secundaria, tal como han demostrado varios autores a través de diversos trabajos (Doran, 1972; Leboutet-Barrell, 1976; Séré, 1982; Furió y Hernández, 1983). Es decir, los alumnos se encuentran con ideas más próximas a las aristotélico-escolástica que a las aceptadas actualmente respecto a esa materialidad.

Según nuestra opinión, esta concepción quasi-inmaterial de los gases, que lógicamente variará con la edad psicológica, se basa en la ligereza o falta de peso de los gases, idea muy similar a la manejada según una concepción aristotélica del mismo. De manera que en este contexto, pesar significa ir hacia abajo y el gas es el prototipo de sustancia que se eleva, que no pesa y, por consiguiente, sin masa. No olvidemos que hasta el s. XVII todavía constituía una herejía afirmar que el aire "pesaba" porque iba contra el cuerpo teórico aceptado por los químicos precientíficos (Davy, 1976).

Por tanto, el aprendizaje significativo sobre la materialidad de los gases deberá superar ideas interiorizadas experiencialmente y que son obstáculos propiciados por las observaciones más comunes. Ahora bien, aceptar estas ideas,

a estas edades, no es una tarea fácil, ya que algunas de las evidencias más usuales actúan dificultando su aceptación al ser "aparentemente" contrarias a las que acepta la ciencia como correctas. Así, los gases son considerados como "algo sustancial" que apenas tienen estatus material en la mente del alumno porque la mayoría no se ven y no pueden tocarse. Por otra parte, lo habitual es que aquellos gases que se ven asciendan (p.e., el humo) lo que es una idea contraria a la consideración del peso y, consecuentemente, a la de masa (magnitudes que confunden la mayoría de los estudiantes de estas edades).

Por tanto, si es cierto lo que afirmamos en la hipótesis sobre la enseñanza utilizada, de forma mayoritaria, en las aulas de secundaria, una consecuencia será que:

A.1. "Las ideas macroscópicas de los estudiantes de secundaria sobre algunos aspectos de la materialidad de los gases estarán fuertemente impregnadas de sus percepciones de sentido común y, por ello, en situaciones físicas estáticas tendrán grandes dificultades para considerar que tienen masa o peso."

A.2. Las dificultades de los estudiantes para interpretar correctamente la ley de la conservación de la masa en procesos físicos o químicos en los que participan los gases.

De la consecuencia A-1 se deduce ésta. Así, la materialidad de los gases y la correcta interpretación de la participación de éstos en las reacciones químicas son, según Khun, los dos elementos claves que propiciaron el cambio del paradigma clásico, ya que la mayoría de las reacciones con gases observadas corresponde a combustiones en las que se produce una aparente pérdida de masa al "desaparecer" parte de la materia corpórea (sólidos y líquidos).

Por tanto, si la afirmación realizada en A.1 se confirma, una consecuencia de la misma será que los estudiantes de esas edades tendrán dificultades para asumir el principio de conservación de la masa en los cambios físicos o químicos en los que intervengan sustancias en este estado físico.

Por otra parte, la relación entre conservación y atomismo es un tema tradicional de la epistemología genética, comprobándose que el niño a los 9 o 10 años admite la conservación de la sustancia mientras objeta la invariancia del peso en procesos de variación de forma (Piaget e Inhelder, 1941). Posteriormente -10 y 11 años- admiten mayoritariamente la conservación del peso. Así parecen confirmarlo los estudios realizados por Lovell y Ogilvie (1980) con muestras estadísticamente significativas de niños. Sin embargo, el mismo Piaget (1972) reconoció, posteriormente, la importancia del contexto justificando que los resultados no son los mismos al proponer cambios de estado que impliquen una disminución drástica de la percepción de materia como es el caso de la vaporización. Y lo mismo dará que se cuestione respecto del peso que respecto de la masa medida con una balanza (Bovet, 1980), dado que allí también se eleva el gas y, por consiguiente, no debe conservarse ni el peso ni la masa.

Además, según Piaget, los alumnos y alumnas, en la edad en la que comienzan el estudio de la etapa son, mayoritariamente, conservativos de la sustancia y del peso, en los procesos de cambio de forma o de disolución en los que intervienen sólidos o líquidos. En consecuencia, los errores cometidos por los estudiantes en las respuestas a cuestiones relacionadas con la conservación de la masa en procesos en los que intervienen gases se deben, principalmente, a las dificultades que encuentran en admitir la materialidad del gas. Por tanto, dado que una de las características de la metodología convencional es el aprendizaje memorístico no significativo, los alumnos no aplicaran correctamente la ley de la conservación de la masa -a pesar de que puedan haberla aprendido memorísticamente- a procesos en los que intervengan gases.

Por tanto, esta nueva consecuencia contrastable se puede enunciar diciendo:

A.2. *“En aquellos procesos físico-químicos donde intervengan gases la mayoría de los alumnos y alumnas no asumirán la conservación de la masa”.*

A.3. Dificultad en aceptar la existencia de la presión atmosférica.

La inmaterialidad de los gases se manifiesta también en la medida en que los efectos del aire sólo son aceptados, de forma mayoritaria, cuando hay movimiento (Hierrezuelo y Montero 1991, Seré 1982, Méheut 1996). Ello significa que en situaciones estáticas la existencia del aire como gas que invade todo el espacio no es percibido por una mayoría de los estudiantes, por lo que la existencia de la presión atmosférica será una dificultad con la que se encontrarán al estudiar el tema. Por tanto, otra consecuencia del aprendizaje poco significativo logrado por los estudiantes será que una mayoría de éstos no consideran a la presión atmosférica como la causa de muchos de los efectos que transcurren en la vida cotidiana.

En consecuencia esta tercera consecuencia contrastable señala que:

A.3. *“Dado que la presión del aire no se nota, los alumnos y alumnas no serán capaces de atribuir a ella algunos hechos usualmente observados”.*

Las tres consecuencias contrastables comentadas pertenecen a procesos relacionados con propiedades macroscópicas. Pero, un aprendizaje significativo de la naturaleza corpuscular de la materia supone no sólo reconocer o describir el comportamiento macroscópico -basado en las propiedades de la materia- sino también comprender o explicar este comportamiento a través de modelos. Un

modelo es tanto mejor cuanto más extenso es su dominio de validez. Es decir es aquél que permite explicar un número más amplio de fenómenos, a la vez que es capaz de predecir nuevos hechos. Como señalan Meheut, Lacher y Chomet (1988): *"La validez de un modelo depende de su coherencia interna y de su simplicidad, pero también, de su poder explicativo y predictivo"*.

Por tanto, el modelo deberá ser capaz de justificar todas las propiedades de los gases. El problema esencial al que debe dar respuesta es si los gases y, la materia en general, es continua o discontinua. Estamos ante una polémica cuyo origen hay que remontarse a la época de los griegos. Pensadores como Aristóteles defendía la continuidad, al considerar que la materia es infinitamente divisible, mientras que otros como Leucipo y Demócrito decían que llega un momento, más allá de lo visible, en el que ya no puede dividirse más al formarse corpúsculos que dieron el nombre de átomos (palabra que en griego significa indivisible). Lucrecio en su obra *De rerum natura* señala que *"Toda la Naturaleza tal como existe, se compone de dos cosas: los cuerpos y el vacío en el cual estos cuerpos están situados y en cuyo seno se mueven"*. Es decir que para este pensador la materia ordinaria se compone de estas dos realidades: lo sólido, en último término partículas, y el vacío o espacio vacío. Como dice Holton (1978) *"Era ésta una imagen espectacular y sugestiva, ¡un mundo que constaba sólo de átomos y de espacio vacío, ninguno de los cuales podía percibirse directamente!"*.

Sin embargo, esta imagen no fue aceptada por la comunidad de científicos hasta el s. XVIII lo cual y siguiendo el paralelismo entre Historia y conocimiento cotidiano, en los términos anteriormente aludidos, hacía previsible la posible existencia de obstáculos que podrían justificar suficientemente las dificultades que los alumnos, en ciertas edades, manifiestan para asumir de forma comprensiva el modelo discontinuo de materia.

Parece que esta concepción atomista es ya sabida por los alumnos. Así, se ha podido comprobar que los alumnos ante la pregunta de si la materia está

formada por partículas o es continua se inclinan, de forma muy mayoritaria, hacia la primera respuesta; pues, el entorno cultural en el que se mueven menciona frecuentemente la palabra átomo, corpúsculo, partícula que frecuentemente le atribuye significado de germen o virus (Pozo et al 1991). Pero, una cosa es que den esa contestación y otra muy diferente que acepten todo lo que ello supone. Así, en un trabajo realizado por Meheut y colaboradores (1988) consistente en solicitar de los alumnos que tras comprobar alguna propiedad de los gases diesen una interpretación en base a un modelo interpretativo señalaron lo siguiente: *"Estas entrevistas y cuestionarios escritos nos han mostrado que estos fenómenos no suscitan entre los alumnos descripciones en términos de discontinuidad de la materia; las propiedades macroscópicas les resulta suficientes para explicar estos fenómenos"*. Nussbaum (1989), en una experiencia realizada a través de entrevistar a alumnos de 14 años, comprueba que éstos "afroitan el aprendizaje del modelo de partículas con uno alternativo bastante estable según el cual la materia se concibe básicamente como continua y estática".

Sin embargo, el mismo autor, - y otros investigadores en este campo- han podido comprobar cómo desde edades tempranas los alumnos pueden dar respuestas interpretativas sobre algunas propiedades de los gases a través de una justificación basada en la existencia de partículas.

Por tanto, la contrastación de esta hipótesis necesita enunciar consecuencias, tanto sobre el aprendizaje de las propiedades como sobre el modelo que debe interpretarlas por lo que, a continuación, pasaremos a enunciar algunas de éstas.

A.4. Los estudiantes no poseen ideas estables sobre el modelo de gas.

Las ideas del modelo corresponde al mundo de lo imaginativo por lo que las posibles concepciones alternativas existentes serán poco consistentes y, en consecuencia, fácil de modificarlas a través de las posibles estrategias de aprendizaje.

Dentro del ámbito formal de las concepciones alternativas se hizo una diferencia entre la consistencia de aquellas procedentes de la experiencia sensible, que suelen estar muy arraigadas; de las que se deben a otro tipo de transmisión que resultan más flexibles y, en consecuencia, mucho menos arraigadas. Así, el estado gaseoso no forma parte importante de la experiencia sensible del niño, al contrario de lo que sucede con otros conceptos que desarrollan en su evolución. Según sus percepciones los gases deben ser para ellos como materiales típicamente no corpóreos de los que han observado algunos rasgos descriptivos y anecdóticos relacionados con la producción de humos, con el uso de globos, etc. que no han obligado a una interiorización del concepto y únicamente son tratados en ambientes escolares a través, fundamentalmente, de una transmisión lingüística. En consecuencia, es lógico suponer que las ideas existentes en alumnos que inician el estudio de los gases se encontrarán ligadas débilmente a su estructura cognitiva y podrán cambiar con facilidad. Las interpretaciones de las propiedades de los gases a través de modelos pertenecen a este tipo de ideas y por tanto su consistencia será baja y dependerá de los contextos de las tareas a las que se enfrente el estudiante. Por el contrario, cuando los alumnos han interiorizado las ideas aceptadas científicamente parece que sean más consistentes que cuando responden con esquemas alternativos.

Por todo ello, es lógico pensar que las concepciones alternativas sobre el modelo corpuscular de la materia existentes en alumnos y alumnas que inician el estudio de los gases, se encontrarán ligadas débilmente a su estructura cognitiva

y, por tanto, serán fácilmente modificables según el contexto a explicar. Por otra parte, dado que nuestra hipótesis principal hace referencia a la ineficacia del modelo de enseñanza utilizado, otra consecuencia de la misma será que los estudiantes no dispondrán de un modelo estable, incluso después de recibir la formación dentro del modelo de enseñanza mencionado.

Por ello la cuarta consecuencia contrastable está redactada de la forma siguiente:

A.4. “Los alumnos y alumnas de los primeros cursos de la educación secundaria obligatoria no tendrán esquemas alternativos estables y fuertes sobre la estructura interna de los gases incluso después de haber sido instruidos a través del modelo tradicional de enseñanza basado en la transmisión verbal de conocimientos previamente elaborados.”

A.5. Las dificultades del alumnado para extrapolar el modelo de gas a los sólidos y líquidos.

Coherente con la fundamentación teórica de la hipótesis, los aspectos de la teoría más difícilmente asimilables corresponden a los que aparentemente más en contradicción se encuentran con la percepción, como pueden ser: el concepto de vacío, el movimiento intrínseco de las partículas y la interacción entre ellas.

La mayoría del alumnado, al comenzar los estudios de los gases en la educación secundaria obligatoria, admite que la materia es discontinua por estar formada por partículas, tal como ya hemos mencionado. Sin embargo, si nuestra hipótesis es correcta significará que, en realidad, no son conscientes del significado de la afirmación y no admitirán la existencia de huecos, especialmente en aquellos cuerpos compactos como los sólidos. Es decir que:

A.5. *“Los alumnos y alumnas que hayan seguido la enseñanza de la naturaleza corpuscular a través de una metodología clásica tendrán dificultades para asumir aquellas ideas aparentemente contradictorias con las observaciones comunes, como es la existencia de huecos en los sólidos”*

A.6. Las dificultades del alumnado en la resolución de cuestiones que relacionen aspectos macroscópicos con microscópicos.

La imagen algorítmica y operativista de la actividad científica transmitida por la metodología tradicional unida a la visión excesivamente analítica de las construcciones científicas, olvidando los procesos de unificación de la Ciencia, provoca que los estudiantes encuentren muchas dificultades en aplicar relaciones cuantitativas procedentes del campo macroscópico con otras procedentes del microscópico (Linjfe et al 1990), como sucede al relacionar las cantidades de volumen de gases que reaccionan con el número de partículas que intervienen. Relación que puede encontrarse aplicando directamente la primera hipótesis de Avogadro o el modelo de gas establecido.

Recordemos que Avogadro buscó una interpretación a las relaciones volumétricas obtenidas por Gay-Lussac. Este investigador había comprobado la existencia de relaciones numéricas muy sencillas entre los volúmenes de reacción de las sustancias gaseosas. Avogadro interpretó estos resultados partiendo de la idea de gas según la cual el volumen era directamente proporcional al número de moléculas y, por tanto, las relaciones de volúmenes "no parecen depender más que del número relativo de las moléculas que se combinan y de las que resultan de la combinación" (Taton 1958).

Esta hipótesis de Avogadro es, en el fondo, una implicación lógica del modelo cinético para los gases que se puede deducir de la relación general entre la presión, el volumen, la temperatura y el número de partículas. Sin embargo, en

la enseñanza convencional esta hipótesis suele presentarse de forma totalmente dogmática, enunciándola directamente sin hacer mención a ninguna posible deducción lógica. Por otra parte, el establecimiento de relaciones entre el comportamiento macroscópico y la interpretación submicroscópica no es muy habitual en este tipo de enseñanza. De ahí que es de esperar que los alumnos encuentren muchas dificultades en aplicar estas relaciones y, consecuentemente, que sea motivo de un elevado fracaso escolar.

Por tanto, si nuestra hipótesis es correcta, otra consecuencia sobre el aprendizaje será que:

A.6. “Los estudiantes mostrarán muchas dificultades cuando tengan que resolver actividades (ejercicios o problemas) donde deben razonar utilizando ideas y relaciones del mundo submicroscópico para obtener resultados macroscópicos.”

3.1.2. Operativización de la segunda hipótesis derivada.

El enunciado de esta segunda hipótesis derivada parte del supuesto de aceptar que de todos los factores que intervienen en el proceso de aprendizaje el modelo de enseñanza-aprendizaje, que de forma implícita o explícita el profesor o profesora utiliza en el aula, es el que tiene una mayor incidencia. Por tanto, si la primera hipótesis derivada enunciada es correcta y, en consecuencia, el aprendizaje ha sido poco significativo ello será debido, fundamentalmente, a que el modelo de enseñanza utilizado por el profesorado no incorpora las aportaciones que desde el dominio de la investigación didáctica de las Ciencias, se vienen realizando.

La contrastación de esta hipótesis se realizará a través de dos posibles consecuencias derivadas que, como antes, las enunciaremos fundamentándolas.

B.1. Las metodologías convencionales empleadas por el profesorado no incorporan las aportaciones de la investigación didáctica a la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia.

Para cumplir los objetivos didácticos planteados, antes de comenzar cualquier tema, el profesorado selecciona determinados contenidos, programa actividades y prepara materiales para utilizar en el aula. Estas decisiones o estrategias responden a un modelo didáctico que puede estar explícito o implícito. A pesar de que, en apariencia, es escaso el número de profesores que defienden el aprendizaje a través de las clases magistrales, el peso de la tradición es muy grande y aún siendo difícil evaluar esto numéricamente, puede asegurarse que la mayoría del profesorado utiliza estrategias basadas en el modelo convencional ya descrito. Esto se debe a que, en nuestro País, la formación didáctica inicial del profesorado de Ciencias es casi inexistente y la experiencia adquirida, primero como alumnos y después como profesores ha estado impregnada con este modelo.

En los últimos años se ha producido un aumento sustancial en la oferta formativa para el profesorado en ejercicio, lo que ha sido utilizado por un apreciable número de profesores y profesoras. En estas actividades se les ha dado a conocer metodologías alternativas; pero, la situación de los Seminarios o Departamentos Didácticos en los que de forma implícita se acepta la metodología tradicional, suponen obstáculos reales al cambio metodológico lo que provoca que muchos, a pesar de la formación recibida e incluso de su posible aceptación, continúen utilizando "su modelo anterior".

Gil (1991) señala: *"...los profesores tenemos ideas actitudes y comportamientos sobre la enseñanza, debidos a una larga formación "ambiental" durante el período en el que fuimos alumnos. La influencia de esta formación incidental es enorme porque responde a experiencias reiteradas y se*

adquiere de forma no reflexiva como algo natural, obvio, de sentido común, que escapa a la crítica y se convierte en un verdadero obstáculo.

Estas ideas y comportamientos docentes espontáneos afectan a aspectos esenciales de la enseñanza -desde las concepciones acerca de cómo se aprende, a la evaluación, pasando por el clima del aula, las diferencias en el rendimiento de chicos y chicas o el tipo de actividades que los alumnos pueden realizar".

Por tanto, nos encontramos con una situación en la que la mayoría del profesorado utiliza metodologías basadas en la transmisión-recepción de los conocimientos científicos ya elaborados a través, básicamente, de la “clase magistral” y que no incorporan las aportaciones que desde la investigación didáctica en las Ciencias han venido desarrollando principalmente en los últimos años.

En consecuencia, si esta fundamentación es correcta una consecuencia será que:

B.1. *“La mayoría del profesorado no tiene en cuenta las concepciones alternativas de los alumnos y alumnas respecto a la materialidad de los gases y desconoce la existencia de las dificultades en el aprendizaje de ciertos contenidos que forman parte de la naturaleza corpuscular de la materia.”*

B.2. Los libros de texto presentan la naturaleza corpuscular de la materia siguiendo las características propias de metodologías convencionales.

Es evidente que una cosa es el libro de texto que el profesor o profesora utiliza, y otra, a veces muy distinta, lo que hace en el aula. Ahora bien, como primera aproximación, el análisis de los contenidos de textos existentes constituye una fuente importante de conocimientos declarativos, procedimentales y explicativos que el profesorado utiliza en el aula. El análisis de los libros de

texto como instrumento válido para comprobar los contenidos y metodologías aplicadas en el aula, por la mayoría del profesorado, está basado en estudios que ponen de manifiesto la enorme influencia que sobre las experiencias de aprendizaje ejercen éstos (Harms y Yager 1981; Bullejos de la Higuera 1983). En un trabajo realizado en USA por Stake y Easley (1978) se concluyó que la casi totalidad de los 12.000 profesores encuestados usaban textos en un 90% del tiempo de enseñanza y Goodlad (1979) llega a afirmar: *"Resulta un hecho histórico documentado y constatado por los datos empíricos que los fines y los medios del currículum frecuentemente son determinados por los clientes y no por los representantes de la sociedad que deciden la política educativa y aplican sus programas en la práctica"*. Si bien, en la actualidad este resultado no es totalmente extrapolable, sigue siendo un dato a considerar dado que como señala L. del Carmen (1990): *"Hasta ahora el profesor es básicamente un aplicador de los programas elaborados por la Administración e interpretados e instrumentados por las editoriales a través de los libros de texto"*. Otras opiniones de expertos que avalan la relación citada son Gimeno Sacristán (1991): *"La escuela está todavía dominada por materiales escritos porque seguramente a través de ella pervive una metodología pedagógica muy bien asentada"*, y Venezky (1992): *"Los textos representan la manifestación visible para el público de las intenciones y conocimientos escolares constituyendo una de las referencias más visible e inmediata de lo que se propone la escolaridad"*

Por tanto, podemos afirmar que existe consenso al pensar que los textos reflejan las concepciones que tienen sus autores sobre la ciencia y el aprendizaje científico y, en consecuencia, nos acercan de forma significativa a la manera de presentar y tratar los conceptos y principios (Escobedo y Furió, 1993). En consecuencia si la anterior consecuencia enunciada ha sido correcta se desprende otra relacionada con los libros de texto.

B.2. “ *La mayoría de los libros de texto podrán de manifiesto insuficiencias didácticas en la enseñanza habitual, como p.e. no tener en cuenta las concepciones alternativas de los estudiantes en esas edades ni las dificultades que tienen para aprender los conceptos de la naturaleza corpuscular de la materia.* ”

3.2. PANORÁMICA GENERAL DE LOS DISEÑOS PROGRAMADOS PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS .

La contrastación de la hipótesis la hemos realizado a través de un diseño experimental múltiple y convergente, dado que el proceso de enseñanza-aprendizaje es extraordinariamente complejo y exige procedimientos variados y consistentes. Un método único produce datos limitados y muchas veces, engañosos (Cohen y Manion, 1990).

En este sentido conviene recordar las conclusiones a las que llegaron Larkin y Rainard (1984), de la Carnegie-Mellon University (EEUU), uno de los centros más importantes del mundo en la psicología del procesamiento de información, y según los cuales encuestar a 500 en vez de 10 individuos, de una población de 5000, para determinar si presentan o no una determinada variable, sólo disminuye en un factor de 1,1 la desviación típica. Por tanto, en la mayoría de las investigaciones educativas, no es necesario utilizar grandes muestras siendo preferible lograr grandes diferencias estadísticas entre muestras de acuerdo con la hipótesis a contrastar, y a ser posible, de maneras muy distintas experimentalmente. Por ello en la selección de las muestras se han utilizado diversos procedimientos y así frente a encuestas con un número importante de participantes en otros se ha reducido el número de forma sensible.

Es decir, que el diseño que presentamos pretende contrastar la hipótesis mediante el control de múltiples predicciones derivadas cuyo cumplimiento, de forma conjunta, permitirá poder confirmar su validez.

Recordemos que esta primera hipótesis principal constaba de dos partes una relativa a los logros del aprendizaje y otro a cómo se realiza habitualmente la enseñanza. En la primera se ponía de manifiesto algunas de las posibles consecuencias debido al aprendizaje poco significativo que los alumnos de secundaria logran sobre la naturaleza corpuscular de la materia.

Las muestras utilizadas para contrastar la primera hipótesis derivada pertenecen, principalmente, a estudiantes de secundaria, según la ordenación del Sistema Educativo actual. Cuando comenzamos esta experiencia todavía no estaba definido la nueva ordenación, no obstante, dado que nuestra finalidad es comprobar la falta de aprendizaje significativo en la naturaleza corpuscular de la materia teníamos que empezar por los primeros cursos en los que se enseña este tema, lo cual corresponde a la segunda etapa de la EGB y que ha coincidido con el primer ciclo de la nueva etapa educativa llamada Educación Secundaria Obligatoria. Además, el proceso de implantación seguido en esta Comunidad ha hecho que sean escasos los centros en los que se impartía la E.S.O. durante el tiempo de experimentación de este trabajo -ningún centro de la ciudad de Valencia-, por lo que las muestras corresponden a alumnos que cursaban la EGB. Por otra parte, dado que el investigador es profesor de BUP/COU y que además, le resultaba más sencillo acceder a centros de este nivel, las muestras de alumnos son de este nivel educativo lo cual, teniendo en cuenta el tema de estudio, resulta una situación de desventaja respecto a la hipótesis emitida que si se hubieran utilizado alumnos de F.P.; pues, se considera que dada la procedencia del alumnado, así como la finalidad básica de cada uno de estos estudios, los estudiantes de BUP, en general, aprenden mejor los conceptos que estamos tratando. En consecuencia consideramos que haber seleccionado muestras de la

segunda etapa de EGB y de BUP/COU nos permite extraer resultados correspondientes a la secundaria actual.

En una ocasión, hemos utilizado muestras de estudiantes del Curso de Aptitud Pedagógica (CAP) por considerar que sus respuestas eran interesantes al corresponder a individuos que han finalizado recientemente -o estaban en el último años de carrera- licenciaturas de Física o Química y que, por tanto, la detección de posibles insuficiencias conceptuales era un dato elocuente sobre el aprendizaje obtenido. Obviamente sólo se utilizó esta muestra en un diseño considerado “a priori” difícil para la secundaria por las razones que, en su momento, se señalarán.

Por último, se han incorporado, también, muestras de estudiantes de Magisterio. Esto se hizo al considerar que el perfil de estos alumnos y alumnas era idóneo para conocer el aprendizaje logrado tras finalizar la etapa secundaria ya que al hacer un tiempo que habían finalizado estos estudios, así como la madurez propia de la edad, las respuestas ante preguntas relacionadas con hechos cotidianos observados -referentes a presión atmosférica- nos proporcionaban nuevos datos interesantes sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para contrastar la segunda hipótesis derivada utilizamos profesores y profesoras asistentes a cursos de formación. Pensamos que dado el carácter voluntario de estos cursos, los asistentes son profesionales con interés por mejorar su práctica diaria y, en consecuencia, la selección de la muestra era desventajosa para el investigador que pretende mostrar que el profesorado no tiene en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica al proceso de enseñanza aplicada en el aula, lo que es una de las causas de que los estudiantes no logren aprendizajes más significativos.

En cuanto a las estrategias utilizadas para extraer los datos se ha utilizado principalmente el cuestionario escrito, en ocasiones, con items de respuestas cerradas y, en ocasiones, con respuesta abierta. En algunos de estos

se solicitaban dibujos para permitir una interpretación más clara de lo que se supone que el alumno pretende decir y, en otro, se hacía previamente una experiencia que debían interpretar. En todos los casos se solicitaba una explicación de la respuesta; sin embargo, eran muchos los que en los items de respuesta cerrada optaban por no hacerlo.

También, en un diseño, se ha utilizado la entrevista clínica. Esto se realizó en uno cuyo objetivo era conocer la evolución de las ideas ante diversas actividades, algunas de las cuales eran acompañadas de observaciones experimentales que servían para contrastar la previsión que ellos mismos habían previamente realizado y que facilitaba la interpretación posterior que se les solicitaba.

3.3. DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS DERIVADA, SEGUN LA CUAL EL APRENDIZAJE SOBRE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA ES POCO SIGNIFICATIVO.

Cada una de las consecuencias contrastables ha sido motivo de diseños particulares que, a continuación, exponemos.

D.1. Diseño para comprobar las dificultades que tienen el alumnado en asumir la materialidad de los gases.

Como se ha señalado las ideas macroscópicas que los alumnos y alumnas tienen sobre los gases se derivan de su experiencia cotidiana y, por tanto, no ha de extrañar que conciban a los gases como sustancias que "se elevan" y con un comportamiento diferente al de los sólidos y líquidos. Por esa razón el diseño preparado para comprobar la consecuencia contrastable A-1 ha consistido en un cuestionario consistente en una batería de preguntas relacionadas todas con un

mismo hecho experimental, la transformación de un líquido (agua) en gas (vapor). Las preguntas formuladas estaban relacionadas con la conservación de algunas de las propiedades generales de la materia, tales como la sustancia, la masa y el peso al realizar este cambio físico.

En este diseño han participado 1198 estudiantes que estaban cursando desde 7º de EGB hasta COU en 12 centros de la provincia de Valencia, entre los que hay colegios donde se imparte el nivel de EGB y, también, Institutos en los que se imparte BUP y COU. Todos los estudiantes de 3º de BUP habían elegido la opción de Ciencias y los de COU la Química. Por tanto, la mayoría de las respuestas corresponden a alumnos que habían estudiado los gases y la naturaleza corpuscular en varios cursos; por lo que las respuestas servían para poder evaluar la eficacia del aprendizaje.

El cuestionario fue aplicado siempre por el mismo investigador para asegurar que la información que se daba a través de las preguntas que podían realizar los alumnos y alumnas al leerlas, era siempre la misma y sólo correspondía a posibles aclaraciones interpretativas. Los items se aplicaron sin previo aviso a los estudiantes y se les concedió todo el tiempo que necesitaron para responder a la totalidad del cuestionario y sólo se recogían las respuestas cuando el alumno lo entregaba.

El cuestionario constaba de cuatro items: el primero y el segundo eran similares ya que preguntaba sobre la conservación de la cantidad de sustancia y del peso, respectivamente, antes -cuando se encuentra en forma líquida- y después de vaporizar el líquido -cuando está en forma gaseosa-.

El tercer item era icónico mostraba una balanza y así se evitaba escribir las palabras "masa" o "peso", pues éramos conscientes de que en algunas de las edades en las que hacíamos la pregunta estas dos palabras tenían el mismo significado, por lo que si las respuestas resultaban similares o coincidentes nos

permitía reconocer que las respuestas erróneas no eran debidas a la confusión reinante entre estos dos términos físicos.

El cuarto ítem pretendía mostrar la relación entre "falta de peso" y "flotabilidad". Para ello se presentaba un dibujo con tapones situados en diversas posiciones y se les preguntaba sobre cuál de ellos consideraban que tenía una mayor posibilidad de saltar, en primer lugar, al calentar el líquido e ir produciéndose vapor.

En todas las cuestiones planteadas se incorporaba siempre la respuesta "no lo sé" para evitar, en la medida de lo posible, dar respuestas aleatorias que pudiesen enmascarar el resultado. En el proceso se utilizó un lenguaje sencillo, recurriendo a procesos conocidos con dibujos que aclarasen las posibles dificultades existentes. Hay que decir que previamente se hicieron sondeos previos y consultas a ocho profesores y profesoras de los niveles a los que iban destinado el ítem pudiendo, de esa forma, constatar la validez del ítem propuesto pues el 100% de los consultados así lo manifestaron. Por otra parte, se hicieron sondeos previos con un grupo de estudiantes comprobándose que no había ninguna dificultad en la comprensión del ítem. No obstante, el investigador previamente presentaba las preguntas y respondía a posibles cuestiones aclaratorias que se solicitasen.

En concreto el instrumento utilizado para mostrar las ideas de alumnos y alumnas sobre la materialidad de los gases se encuentra en el documento 1 siguiente en forma de cuestionario:

DOCUMENTO 1. Cuestionario para analizar las ideas de los estudiantes respecto a la materialidad de los gases

1. Supongamos que calentamos una cantidad de líquido en un balón cerrado que se evapora totalmente, como aparece en el dibujo.



(1)



(2)



(3)

Fig. 1.

1. Indica en qué caso habrá más cantidad de sustancia:

-en el caso 1:; -en el caso 2:; -en el caso 3:

Otra respuesta

No lo sé

Explica tu respuesta.....

2. Indicar en qué caso pesará más el globo:

-en el caso 1:; -en el caso 2:; -en el caso 3:

Otra respuesta

No lo sé

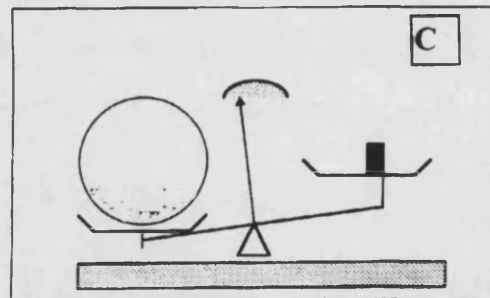
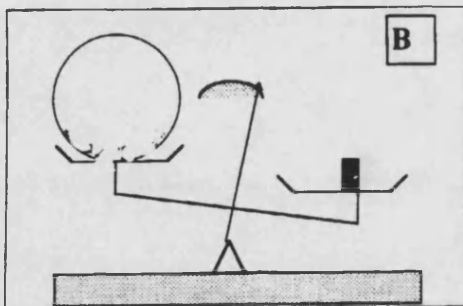
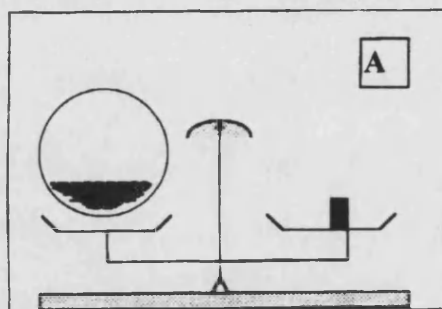
Explica tu respuesta

3. Si se hubiese puesto el balón con el líquido inicial en una balanza y se hubiera equilibrado como indica la figura A y, después de evaporado, lo pusiéramos nuevamente en la balanza ocurriría:

-Lo dibujado en B:; - Lo dibujado en C:

-Otra respuesta: ; -No lo sé:

-Explica tu respuesta



4. Se calienta un poco de líquido en un balón de vidrio que contiene un tapón en diferentes posiciones 1, 2, y 3. ¿En qué caso saltará el tapón más fácilmente?



(1)



(2)



(3)

-En el caso 1: ; - En el caso 2:; - En el caso 3:

Otra respuesta:

Explica tu respuesta:

2. Diseños para contrastar las dificultades que los alumnos tienen para predecir correctamente las relaciones de peso en procesos físicos o químicos en los que intervienen gases.

Para contrastar la segunda consecuencia A-2 se han planificado varios diseños. Uno en el que los gases son producto de reacciones y otros en el que éstos actúan como reactivos.

D.2. ¿Se conserva la masa en los procesos físico-químicos en los que intervienen gases?

El primero de los diseños ha consistido en un cuestionario formado por una serie de items relativos a los cambios materiales en procesos químicos que incluyeran como variable la desaparición de materia perceptible, eligiendo cambios cotidianos que fuesen suficientemente conocidos por los propios estudiantes para evitar, de esa forma, cualquier otra dificultad interpretativa.

La muestra utilizada y las condiciones en las que se pasó han sido las mismas que en el diseño anterior ya que las preguntas de ambos diseños se presentaron a los estudiantes encuestados en el mismo documento.

Los items describen cambios desarrollados todos en recipientes herméticamente cerrados donde no puede escapar nada y se buscó una serie de procesos en los que se va produciendo, progresivamente, una mayor desaparición de materia corpórea. Los procesos elegidos han sido: en primer lugar, la disolución de azúcar en agua, que servía de referencia al no producirse ni intervenir gas alguno. A continuación, se seleccionó el proceso de disolución de una aspirina efervescente en agua, donde se observa la formación de burbujas que se "escapan" del líquido y el tercero fue la combustión de un trozo de papel, en el que hay una pérdida apreciable de masa puesto que las cenizas ocupan sensiblemente menos volumen que el papel, antes de quemarse. A estos resultados, se les añadirá el item del documento-1 en el que se pedía el peso en un proceso físico en el que la desaparición de materia es total. Es decir, que se ha ido desde un proceso en el que no existe desaparición de materia corpórea hasta otro en el que la desaparición es total, pasando por dos situaciones intermedias. Las cuestiones presentadas figuran en el documento-2.

DOCUMENTO-2. Cuestionario para el análisis de la conservación de la masa en procesos en los que se forman gases

1. Se toma un vaso de leche y un terrón de azúcar y se ponen en el mismo platillo de una balanza para pesarlos (caso 1). Después se echa el terrón de azúcar dentro de la leche y se remueve hasta su disolución total (caso 2). Elegir la respuesta que os parezca correcta:

- en el caso 1 pesará lo mismo que en el caso 2
- En el caso 1 pesará menos que en el caso 2
- En el caso 1 pesará más que en el caso 2
- No lo sé

2. En el mismo platillo de una balanza se ponen un tubo que contiene agua, un tapón y una aspirina efervescente y se pesan conjuntamente (caso 1). Después se vierte la aspirina en el tubo tapándolo inmediatamente. Se deja efervescer hasta que se disuelve toda la pastilla, volviendo a pesar (caso 2). Elige la respuesta correcta:



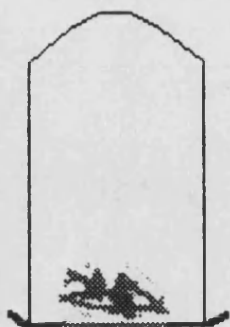
figura 1



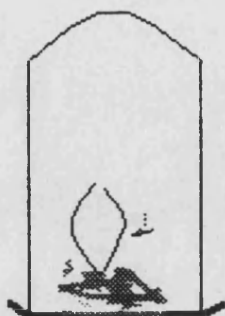
figura 2

- En el caso 1 el conjunto pesará menos que en el caso 2
- En el caso 1 el conjunto pesará más que en el caso 2
- En el caso 1 el conjunto pesara igual que en el caso 2
- No lo sé

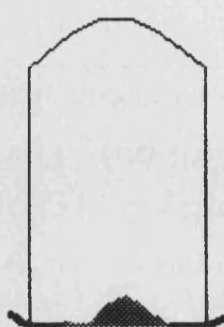
3. En la figura se ha puesto un papel dentro de una campana (1), después mediante un proceso de rayos se prende fuego (2) hasta que se queda todo reducido a cenizas (3). Si se hubiese pesado todo conjuntamente en cada uno de los tres casos se comprobaría que:



(1)



(2)



(3)

- El (1) será el de mayor peso
- El de mayor peso sería el (2)
- El de mayor peso correspondería al (3).....
- Pesaría lo mismo en los tres casos
- Lo mismo
- No lo sé

D.3.. La participación del oxígeno en la oxidación.

Las dificultades en asumir la conservación de la masa en los procesos anteriores son debidas, según nuestra hipótesis, a que intervienen gases. En el diseño anterior éstos actuaban como productos de reacción, ahora queremos comprobar que, cuando los gases actúan como reactivos también existen dificultades. Tengamos en cuenta que, como se ha señalado en otro apartado, la interpretación de la participación del oxígeno en las oxidaciones o en las combustiones costó mucho tiempo admitir y fue clave para invalidar la teoría del flogisto y una aportación básica para confeccionar posteriormente la teoría atómica.

El diseño consistió en un ítem referente a la oxidación del hierro. La elección de este proceso fue porque corresponde a una reacción presumiblemente conocida por ellos a través de observaciones cotidianas.

La muestra es la misma que en los anteriores, es decir, 1198 estudiantes que van desde 7° de EGB hasta COU. Las condiciones en las que el ítem se pasó fueron, también, las mismas.

En concreto el ítem propuesto figura en el documento-3 y es el siguiente:

DOCUMENTO-3 Relaciones de masa en la oxidación del hierro.

Se deja olvidada encima de la mesa una cantidad pesada de polvo negro de hierro. Al cabo de algunos días se comprueba que el hierro se ha transformado en polvo amarillo que es una sustancia nueva llamada herrumbre. Ahora el polvo amarillo

- pesará más que el hierro inicial:
- pesará igual que el hierro inicial:
- pesará menos que el hierro inicial:
- no lo sé:.....
- Explica tu respuesta

D.4. Combustión del magnesio.

Este diseño corresponde, nuevamente, a la oxidación de un metal, en concreto del magnesio. La diferencia radica en que se realiza una encuesta ante situaciones donde las respuestas de los estudiantes se exponen después de que ellos mismos hacen, de forma experimental, el proceso de combustión y observan los cambios producidos.

En esta ocasión, la muestra además de utilizar dos grupos de 2º de BUP (N =77), se ha introducido otro grupo de Magisterio (N=31).

En los dos grupos de 2º de BUP se hizo la experiencia cuando se les estaba impartiendo el tema relativo a la estructura atómico-molecular de la materia, en el curso 1993/94. La elección de estos grupos no fue aleatoria sino que se hizo

sabiendo que procedían de un profesor que había trabajado debidamente el aprendizaje de conceptos como sustancia simple y compuesta; pues, somos conscientes de la dificultad que los alumnos y alumnas de estas edades tienen para comprender la diferencia entre ambos conceptos y nos interesaba reducir al máximo cualquier dificultad conceptual diferente a la participación de los gases.

La misma cuestión se pasó, por parte de un profesor de la Universidad implicado en esta investigación, a un grupo de 2º de Magisterio de la especialidad de Ciencias, durante el curso 1993/94. Se trataba de ver si persistían las dificultades anteriores al interpretar esta oxidación en alumnos más mayores aunque su formación anterior era desigual (mientras algunos habían cursado química de COU otros procedían de F.P).

En concreto la experiencia consistió en que el profesor -el investigador en este caso- quemó una cinta de magnesio de unos 5 cm (previamente considerada como sustancia elemental), delante de los estudiantes, a la vez que advierte las precauciones que deben tomarse. A continuación, invita a que ellos mismos, distribuidos previamente en grupos, repitan la experiencia y observen los cambios con detenimiento y que después, de forma individual, cada alumno interprete por escrito el proceso químico. Al mismo tiempo, se les solicita que predigan de forma razonada, si la cal de magnesio (ceniza blanca) obtenida pesará más, menos o igual que el magnesio inicial.

Después se les presentó el documento-4 siguiente:

DOCUMENTO-4 La masa en la oxidación del magnesio

Habéis visto como el profesor ha quemado un trozo de cinta de magnesio. A continuación se os entregará otro trozo, observar el aspecto que tiene y proceder, siguiendo las indicaciones del profesor, a quemarla. A continuación, observar la sustancia formada y proceder, de forma individual, a responder a las cuestiones siguientes:

1. Describir el proceso que ha tenido lugar.
2. Si se hubiese pesado la cápsula (con el magnesio) antes de la experiencia y después (con los productos que quedan). ¿En qué caso se obtendría mayor peso? Justificar la respuesta.

D.5 y 6. Diseño para demostrar las dificultades que los estudiantes tienen para aceptar la existencia de la presión atmosférica.

Como ya comentamos en A.3, la inmaterialidad de los gases se manifiesta también al comprobar cómo los estudiantes no aceptan los efectos del aire cuando hay una situación estática. Para contrastarlo se ha solicitado a alumnos de Magisterio que interpreten dos experiencias cotidianas relacionados con la presión atmosférica, en esta ocasión no se utilizó muestras de 2º de BUP porque

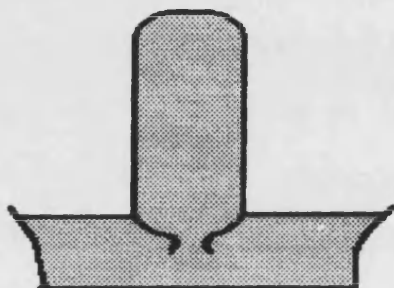
,según nos comunicaron profesores de estos niveles, este concepto no lo habían tratado, y si bien la presión atmosférica es una consecuencia del peso del aire y las actividades propuestas pueden responderse partiendo del modelo de gas creíamos que las circunstancias convertían la pregunta en una situación muy favorable a favor de la hipótesis del investigador por lo que no era una situación correcta para extraer conclusiones.

Las primera experiencia propuesta consistía en volcar una botella llena de agua en un recipiente que también contenía agua (documento-5), y observar que no se vaciaba; mientras que la segunda consistió en pegar una ventosa en la pared. En ambas experiencias se solicitaba que, por escrito, explicasen cuál era el motivo por el que la botella de agua no se vaciaba y la ventosa se quedaba pegada.

Las muestras eran diferentes, para la primera experiencia se utilizó un grupo de 2º de Magisterio (N = 45), mientras que la segunda se pasó a uno de 1º de Magisterio (N = 33); si bien, podemos considerar que ambos pertenecen al mismo grupo ya que no habían estudiado en la carrera el tema y, por consiguiente, las respuestas correspondían a lo aprendido en ambientes diferentes a la Escuela de Magisterio.

DOCUMENTO 5. La influencia de la presión atmosférica en el vaciado de líquidos.

Se invierte una botella llena de agua dentro de una pila con agua según se ve en el dibujo, y se comprueba que no cae. ¿Por qué pasa eso?



D.7. Diseño para mostrar que los alumnos no tienen ideas muy arraigadas sobre el modelo de la materia y, por tanto, no resulta difícil su reestructuración.

Hasta ahora los diseños han estado basados en experiencias correspondientes a hechos que pueden justificarse macroscópicamente aunque lo más interesante es que los estudiantes las interpreten submicroscópicamente. Precisamente, tal como ya se ha señalado, el aprendizaje comprensivo de la Química requiere tanto el conocimiento de las relaciones macroscópicas como las interpretaciones a través de modelos de carácter submicroscópico. Como ya se indicó en A.4 podemos suponer que, en general, las concepciones de los estudiantes sobre el modelo o estructura interna de un gas no estarán tan arraigadas como pueden estar las macroscópicas. Así pues, se ideó un diseño

para mostrar los posibles esquemas conceptuales que tienen sobre el modelo gaseoso, así como para comprobar la estabilidad de estos esquemas que, según nuestra hipótesis, será mucho menos consistente de aquellos que proceden de hechos más vivenciales.

Se trata, pues, de conocer las concepciones alternativa de los alumnos y alumnas sobre el modelo de gas y averiguar si éstas resultan inestables, tal como hemos señalado en nuestra hipótesis de trabajo.

Para contrastarlo se procedió a diseñar una entrevista estructurada a través de la cual se pudiera conocer la interpretación corpuscular que hacen de las propiedades macroscópicas comprobadas previamente de forma experimental.

La entrevista diseñada se aplicó, durante el curso 1988/89, a muestras pequeñas de alumnos y alumnas de diferentes niveles educativos en edades comprendidas entre los 12 y 16 años que estaban cursando desde 7º de EGB hasta 2º de BUP; es decir, prácticamente todos ellos han estudiado una o más veces el tema de los gases. Los alumnos de EGB procedían de cuatro colegios diferentes mientras que los de BUP eran de un mismo Instituto, el número total de encuestados fue de 59.

Las entrevistas se realizaban de forma individual sin límites de tiempo, si bien, la mayoría duraban unos 45 minutos. Dado que el entrevistador no conocía a los entrevistados, antes de proceder a su aplicación se dedicaba un tiempo inicial a hablar distendidamente sobre aspectos de sus estudios, informándoles que la entrevista correspondía a un estudio que venía realizándose y cuyo objetivo esencial era aportar datos para lograr una mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química, para la cual se solicitaba su colaboración. Esta fase inicial fue esencial para lograr una confianza que facilitara la desinhibición y la desenvoltura suficiente para expresarse con total tranquilidad. En el diseño de la entrevista se había previsto la presentación de montajes experimentales para facilitar la comprensión de las preguntas del entrevistador.

Las muestras de entrevistados fueron seleccionados aleatoriamente designados por el propio entrevistador al elegir a los alumnos o alumnas cuyo número de orden en la lista de la clase era múltiplo de siete.

La primera de las preguntas solicitaba que los alumnos y alumnas explicasen lo que entendían por la palabra "gas". La forma de entrevistarles consistía en hacerles, primero, preguntas de predicción sobre el comportamiento gaseoso. Después se hacía el experimento y se solicitaba que imaginaran cómo podía estar estructurado el gas por dentro. Para ayudarles a describirlo se les presentaba una plantilla con 5 modelos para elegir uno o varios. También había dibujado un recipiente, en blanco, por si ninguno de los ofertados se adecuaba a su idea y quería dibujarlo.

A continuación, se le presentaban las propiedades características de los gases (volumen que ocupan, compresión-expansión, dilatación-contracción térmica y difusión para que los interpretara después mostrarles experimentalmente la solución para solicitarles, finalmente, que justificasen la propiedad en base a alguno de los posibles modelos que se les había previamente presentado. Las experiencias realizadas fueron las siguientes:

- Para demostrar que el gas ocupa todo el volumen se preparó un matraz en el que se situaba en la boca un embudo de decantación con agua. Se cerraba con plastilina todos los huecos y así podían observar que al abrir la llave del embudo el agua no caía, sólo cuando se producía algún orificio que facilitase la salida del aire del embudo comenzaba a caer el agua.

- Para la compresión-expansión, se utilizó una jeringa.

- Para la dilatación-contracción térmica se puso un globo deshinchado en la boca de un erlenmeyer, el cual al calentarlo provocaba el aumento de volumen del globo y al enfriarlo se contraía hasta el volumen inicial.

- Para la difusión se pusieron en contacto a través de un tubo un matraz de aire con otro, previamente preparado con vapor de yodo.

La entrevista finalizaba solicitando, de aquellos entrevistados que se hubiesen decidido por varios modelos como solución a las diferentes propiedades, que tratasen de decantarse por uno que globalmente reuniera condiciones para justificar todas las propiedades.

El documento preparado fue el siguiente:

DOCUMENTO-6 Entrevista para extraer las ideas de los estudiantes sobre el modelo de gas

1. ¿Qué es un gas? Cita ejemplos de gases que conozcas.

2. (El entrevistador muestra un erlenmeyer y pregunta: ¿Hay algo dentro de este matraz?)

3. Dibuja cómo crees que es el gas contenido en el matraz. (se le proporciona papel).

4. El entrevistador extrae con una gran jeringa aire del frasco y hace la pregunta siguiente: Si yo extraigo el aire del interior del frasco, ¿pesará lo mismo, más o menos que antes de extraerlo?

5. Entre estos modelos de gases aquí dibujados (se le enseña una plantilla con 6 modelos diferentes y se les explica la característica de cada uno), indica cuál podría responder a lo que es un gas. Si crees que no está el que tú piensas dibújalo en el folio con el frasco vacío dibujado.

6. El entrevistador muestra una jeringa llena de aire cerrada y pregunta al estudiante:

¿Qué pasaría si mantenemos cerrado la jeringa para que no pueda escapar nada de aire y apretamos el émbolo?

¿Cómo se podría explicar este fenómeno con la ayuda de lo que es un gas? (Se le enseñan dibujos de cinco jeringas, cada una de las cuales contiene un modelo de gas distinto).

7. (El entrevistador presenta un kitasato cerrado y con un globo deshinchado en el tubo latera)

¿Qué crees que se observará si se calienta el kitasato? A continuación se procede a calentar el matraz.

¿Cómo interpretas lo que sucede aquí dentro? ¿Qué modelo lo explica mejor? (Se le presenta nuevamente la plantilla con los diferentes modelos de gas).

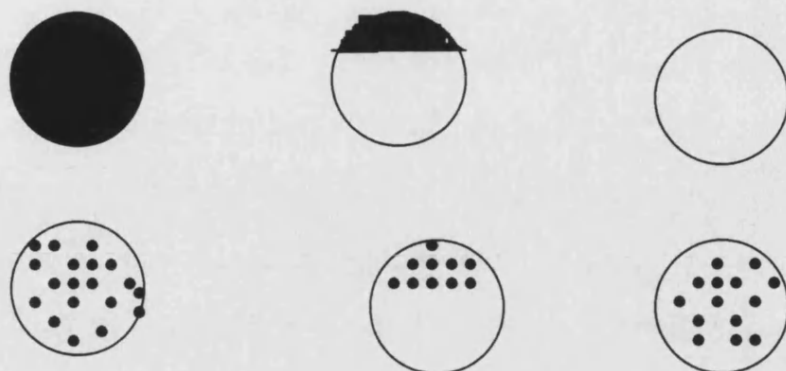
8. (El entrevistador presenta dos erlenmeyer, uno con un gas coloreado -vapor de iodo-, unidos por un tubo).

¿Qué sucederá cuando se pongan en contacto los dos matraces?

¿Qué modelo crees que puede interpretar mejor este fenómeno? Explica con él lo que pasa.

9. Ahora que finaliza la entrevista, ¿con qué modelo de gas te quedarías para justificar todas las propiedades de los gases que acabamos de ver?

La plantilla de modelos que se les propuso constaba de los dibujos siguientes:



D-8. Diseños para mostrar que hay mayores dificultades en asumir el modelo cinético para los sólidos que para los gases.

Como se ha venido señalando en diversos momentos, el aprendizaje no significativo se percibe al comprobar como muchas de las concepciones alternativas con las que comienza el estudiante un tema perduran, una vez finalizada éste, o especialmente, cuando ha transcurrido un cierto tiempo y la retención de la información significativa se reduce drásticamente en la memoria. La excesiva preocupación de la enseñanza por diferenciar prematura y físicamente a los gases de las fases condensadas de la materia (sólidos y líquidos) favorece que el modelo cinético inspirado en los gases y cuyas características peculiares son la existencia de partículas en movimiento en espacios vacíos no se extrapolan de manera cualitativa y matizada al caso de los sólidos y líquidos. Así, no es difícil pensar que mientras los estudiantes sí aceptan la naturaleza corpuscular en los gases, no se acepta la existencia de huecos en sólidos y líquidos y menos aún que las partículas de los sólidos estén en movimiento. Las evidencias de sentido común apoyan la idea de materia completa o compacta y la de reposo en el caso de los sólidos. Por esa razón se han preparado varios

diseños que nos permiten contrastar las dificultades que los alumnos y alumnas muestran para extrapolar estos atributos básicos del modelo corpuscular al caso de sólidos y líquidos.

En realidad, los alumnos y alumnas relacionan de forma cualitativa el movimiento de las partículas con el estado físico y no con la temperatura. Por ello el diseño planificado para contrastar esta consecuencia de la hipótesis consiste en dos cuestiones de opción múltiple relativas a un gas y a un sólido.

La muestra, en este caso, está formada por 337 alumnos de bachillerato y COU de tres institutos diferentes. Los de 1° de BUP no habían estudiado en ese curso el tema de la naturaleza corpuscular de la materia pero sí lo habían hecho en cursos precedentes de la EGB. Los de 2° de BUP sí lo habían estudiado e incluso algunos estaban en ese instante tratándolo, los de 3° de BUP no lo habían dado mientras que los de COU lo habían vuelto a estudiar al comienzo del curso. Las pruebas fueron pasadas entre los meses de Marzo y Mayo de 1993.

La hoja que se presentó a los estudiantes comienza con una información en la que se les indica que toda la materia está formada por partículas, puesto que el objetivo que se persigue es comprobar si se asume el movimiento de las partículas, tanto en el caso de los gases como en el de los sólidos. Los distractores eran en ambos casos los mismos. El primero de ellos corresponde a una situación de partículas en reposo, el segundo al movimiento caótico propio del modelo de gas y el tercero al movimiento de vibración de las partículas correspondientes al modelo del sólido. Se agregaba una cuarta respuesta correspondiente al "no lo sé" para evitar, en la medida de lo posible, que los alumnos y alumnas se viesen forzados a optar por una respuesta aleatoria.

En concreto la prueba de papel y lápiz presentada era la siguiente:

DOCUMENTO-7. Modelo corpuscular para los sólidos y los gases

Como ya sabes, por haberlo estudiado en diversas ocasiones, la materia es discontinua; es decir, que está formada por partículas. A continuación se te presenta unas cuestiones y se te pide que señales la respuesta que te parece correcta, tratando de justificarlo.

(Se ruega que antes de hacerlo leas detenidamente todas las posibilidades ofrecidas y pienses cual es la respuesta que consideras correcta).

1. El oxígeno es un gas conocido que hay en el aire. Si llenamos un globo a temperatura ambiente. Se puede afirmar que:

- a) Las partículas están juntas, quietas llenando todo el globo.
- b) Las partículas están muy separadas y se mueven en todas direcciones de forma caótica llenando todo el globo a pesar de que existan grandes espacios vacíos entre ellos.
- c) Las partículas están próximas y vibran de forma que ocupan todo el globo.
- d) No lo sé.

Explicación:

2. El hierro es un sólido suficientemente conocido por todos. Supongamos que disponemos de un trozo de hierro a temperatura ambiente. Se puede afirmar que:

- a) Las partículas se encuentran juntas, en reposo y ocupando todo el espacio del sólido.
- b) Las partículas se encuentran separadas por lo que hay espacios vacíos por donde se mueven éstas en todas direcciones, de forma caótica ocupando todo el espacio del sólido.
- c) Las partículas están casi juntas, vibran y ocupan todo el volumen del sólido.
- d) No lo sé.

Explicación:

D-9. Diseño para mostrar la dificultad al interpretar corpuscularmente la dilatación en los sólidos.

Un segundo diseño convergente consiste en la interpretación de una de las propiedades más conocidas del comportamiento de los sólidos: la dilatación. La correcta justificación corpuscular de este fenómeno se basa en relacionar el movimiento vibratorio de las partículas con la elevación de la temperatura.

La cuestión se ha presentado a **104** alumnos de 2º de BUP de un mismo instituto procedentes de tres grupos diferentes que tenían profesores distintos. Previamente se había hablado con éstos para asegurar que se había tratado el tema de la naturaleza corpuscular de la materia y, en particular, el modelo cinético.

La cuestión pedía a los alumnos y alumnas que describiesen, apoyándose en un dibujo, lo que creen que les sucede a las partículas de un sólido cuando se calienta y se dilata. Al final se les dejaba espacio para la explicación en la que se pudiesen señalar las ideas que considerasen aclaratorias del dibujo, tema éste que se les comentaba en el momento de presentarles la prueba. En concreto, la cuestión fue:

DOCUMENTO-8 La interpretación corpuscular de la dilatación de los sólidos.

Ya has estudiado en ocasiones anteriores que los sólidos, líquidos y gases son tres estados de la materia la cual está formada por partículas.

Como sabes los sólidos al calentarlos aumentan de volumen. Imagínate que tienes un trozo de hierro a 20°C y lo calentamos hasta 400°C (el hierro continúa estando sólido a esta temperatura). Interpreta lo que ha sucedido a las partículas para justificar el aumento de volumen experimentado, a través de un dibujo explicándolo posteriormente.

Explicación:

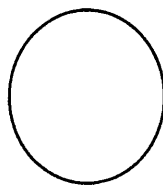
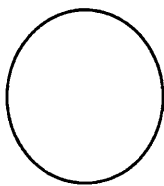
D-10. Diseño para mostrar las dificultades que tienen los alumnos para interpretar corpuscularmente la condensación de un gas.

Las contrastaciones anteriores deben permitir comprobar que los estudiantes tienen dificultades en asumir la naturaleza corpuscular de la materia en los sólidos porque no aceptan la existencia del vacío en este estado. Además, se supone que consideran estáticas y elásticas a las partículas, justificando con ello las propiedades macroscópicas. Esta concepción estática de las partículas en los sólidos supondrá atribuir el movimiento de las partículas al estado físico y no a la temperatura. Por tanto, para ver si esta suposición se ha preparado un ítem de características similares a la del último diseño en el que se les presentaba una situación de cambio de gas a líquido y se les preguntaba que explicasen, apoyándose en un dibujo, lo que sucede a las partículas en el cambio mencionado (documento-9).

La muestra utilizada fue la misma del ejercicio anterior; es decir, estudiantes procedentes de tres grupos diferentes de 2º de BUP de un instituto y se les dió la misma información previa la cual hacía referencia a la existencia de partículas en cualquiera de los tres estados de la materia.

DOCUMENTO-9: Interpretación corpuscular de la condensación de un gas.

Suponer que en un matraz cerrado se dispone de "vapor de agua" (sustancia gaseosa) que se enfría hasta convertirse en agua líquida. Dibuja cómo te imaginas que se encuentran las partículas en cada uno de los dos estados mencionados y explica lo que hayas dibujado.



Explicación:

D-11. Diseño para comprobar las dificultades al resolver ejercicios en los que se deben relacionar los aspectos macroscópicos con los submicroscópicos en gases.

Como último diseño dirigido a conocer las dificultades en el aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia así como la escasa incidencia de la enseñanza impartida, se buscó una cuestión de alta dificultad cognitiva al tener que dominar diversos tipos de conceptos para poderlos relacionar entre sí, lo que unido a la escasez de estrategias en la resolución de situaciones problemáticas aportadas por la metodología de transmisión verbal debe dar como resultado que

sean muy pocos los estudiantes capaces de resolver correctamente ejercicios de estas características.

Para mostrar esta consecuencia contrastable se preparó un ejercicio cuyo contenido correspondiese a conceptos ya estudiados. Se eligió un ejercicio en el que los datos macroscópicos tuviesen que explicarlos mediante el modelo corpuscular. El tema de las relaciones volumétricas de combinación de gases estudiada por Gay-Lussac -datos macroscópicos- y su explicación a través de la primera hipótesis de Avogadro -interpretación atomista- se consideró que reunía las condiciones adecuadas para utilizarse como instrumento válido en la contrastación de esta consecuencia.

El ejercicio que se propuso era similar a otros que habían realizado en las aulas o que aparecen en la mayoría de los textos. En prácticamente todos ellos se utilizan los ejemplos de síntesis del cloruro de hidrógeno, del vapor de agua, del amoníaco o del dióxido de carbono que han de explicarse en términos de partículas. Para evitar los hábitos adquiridos en el manejo de fórmulas y símbolos se eligió como producto una sustancia desconocida. En concreto el ejercicio fue el siguiente:

DOCUMENTO-10. Relación entre los volúmenes de reacción y las fórmulas de gases.

100 ml del gas fluoruro de hidrógeno (HF) se combina con 50 ml de difluoruro de dinitrógeno gaseosos (N_2F_2) y se forman 100 ml de un gas único, en las mismas condiciones de presión y temperatura. ¿Cuál es la fórmula de la molécula del gas obtenido? Justifica la respuesta.

En la muestra utilizada se comenzó con alumnos de 2º de BUP que ya habían estudiado la teoría atómica de Dalton comprobando, a través de conversaciones con sus profesores, que habían estudiado las hipótesis de Avogadro y su relación con las experiencias correspondientes a los volúmenes de reacción entre gases aportadas por Gay-Lussac. Los encuestados correspondían a dos Institutos de Bachillerato y cada uno de los grupos del mismo centro habían sido enseñados por distintos profesores. Además de los de 2º de BUP se pasó la cuestión a grupos de COU, los cuales habían vuelto a estudiar el tema en cuestión al comienzo del curso -el ejercicio se aplicó entre los meses de Abril y Mayo-. Para comprobar la dificultad del ejercicio además, de la poca incidencia de la enseñanza en los aprendizajes, se utilizó una muestra correspondiente a estudiantes del Curso de Aptitud Pedagógica (curso 1989 y 1990) de la especialidad de Física y Química. Esta muestra estaba constituida por licenciados que habían finalizado recientemente sus estudios en Físicas o en Químicas y algunos de ellos con experiencia en el campo de la enseñanza. La obtención de un bajo rendimiento en esta prueba sería otro indicador más sobre la dificultad de la cuestión en la enseñanza secundaria y de la ineficacia de la enseñanza basada en la transmisión verbal.

3.4. DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS DERIVADA SEGÚN LA CUAL LAS ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS UTILIZADAS EN LA ENSEÑANZA CONVENCIONAL JUSTIFICAN EL APRENDIZAJE POCO SIGNIFICATIVO LOGRADO.

Los diseños anteriores se han programado para validar la hipótesis según la cual el aprendizaje logrado por los alumnos de secundaria, en la naturaleza corpuscular de la materia, es poco significativo. A continuación, se presentan los diseños cuyo objetivo es validar la segunda hipótesis derivada, según la cual se

considera que las estrategias utilizadas en la enseñanza habitual son la causa principal que explica este pobre aprendizaje. Estas estrategias pueden adscribirse al paradigma de “transmisión-recepción de los conocimientos científicos ya elaborados”. Para analizarlos se ha acudido a las dos fuentes principales de transmisión directa de estos conocimientos: el profesorado y los libros de texto (consecuencias contrastables A-7 y A-8).

D.12. Diseño para mostrar que el profesorado no tiene en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica en la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia.

Para mostrar que el profesorado, en general, no tiene en cuenta las aportaciones que la investigación didáctica realiza se ha preparado un cuestionario, a través del cual se pretende conocer las ideas que el profesorado tiene sobre algunos de los aspectos del tema de la naturaleza corpuscular de la materia..

En la fundamentación teórica ya hemos mencionado algunas de las concepciones que los alumnos de estas edades presentan así como las dificultades de aprendizaje que algunos contenidos de este tema tienen. Obviamente sólo si se conoce el papel que estas concepciones alternativas ejercen en el proceso de aprendizaje se pueden prever las dificultades que su aprendizaje pueden llevar.

La muestra de profesores y profesoras encuestados procede de dos actividades formativas convocadas oficialmente por la Consellería de Educación de la Comunidad Valenciana. La situación de Reformas existentes ha conducido a que aumenten sustancialmente la oferta formativa dirigida al profesorado en ejercicio y uno de los objetivos prioritarios de estos cursos es el de dar a conocer el nuevo curriculum en el que se contempla el cambio metodológico. Por tanto, la muestra experimental está formado, en este caso, por profesores y profesoras,

que imparten Ciencias en la EGB o Física y Química en BUP, y que voluntariamente han decidido asistir a cursos de formación. Ello quiere decir que son profesores que desean ampliar conocimientos para tratar de mejorar la enseñanza que vienen impartiendo. Esta muestra consta de 20 profesores y profesoras de EGB y 30 de Física y Química de EEMM que asistieron a estos dos cursos, celebrados en el curso 1993/94.

Por tanto, el cuestionario programado se ha dirigido a conocer cuales son las intenciones educativas que, desde el punto de vista de la didáctica, manifiesta el profesorado que enseña la naturaleza corpuscular de la materia en secundaria. Este cuestionario se les propuso en la primera sesión del curso y sólo se les recogió cuando ellos lo decidían. El cuestionario presenta cuatro cuestiones y figura en el documento-11.

Estas cuatro cuestiones permiten determinar si el profesorado es consciente de las aportaciones de la investigación didáctica al proceso de enseñanza-aprendizaje sobre la naturaleza corpuscular de la materia. La primera, detecta si son conscientes de las dificultades de aprendizaje que el alumnado, de estas edades, tienen para aceptar que el gas “no pesa igual que los sólidos” o que “no existe el vacío” o que “las partículas en los sólidos están estáticas”. A través de la segunda y la tercera cuestión es posible saber la concepción didáctica que el profesorado tiene respecto al tema cuestionado; pues, la exposición de los contenidos básicos junto con la secuenciación de los mismos es una forma de determinarla. Por último, la cuarta cuestión solicita que propongan tres actividades que les parezcan adecuadas para una evaluación, ya que las actividades que se proponen en esta importante fase del proceso de aprendizaje reflejan, muy aproximadamente, las intenciones educativas del que los propone. Se les solicita tres cuestiones para, de esa forma, obligarles a elegir y poder así averiguar qué es lo que considera de mayor importancia en el proceso de aprendizaje del tema.

DOCUMENTO-11 Cuestionario propuesto al profesorado para conocer sus planteamientos en la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia.

En los próximos días se va a presentar una metodología de enseñanza alternativa que se va a concretar con el tema de la naturaleza corpuscular de la materia. Para la evaluación prevista al finalizar la exposición de la propuesta, interesa que antes de comenzar el tratamiento del mismo expongáis vuestras ideas sobre algunos de los aspectos que, a continuación, os exponemos.

1. Indica si has observado, entre el alumnado, la existencia de errores o dificultades en la comprensión del tema de la naturaleza corpuscular de la materia.
2. ¿Qué contenidos, conceptuales, procedimentales o actitudinales, destacarías como los más importantes que debe dominar el alumnado?
3. Indica, en forma de índice, guión o esquema conceptual la secuencia de contenidos correspondientes al tema que estamos considerando.
4. Proponer tres actividades que consideréis de interés para una evaluación final del tema.

D.13. Diseño para mostrar que los libros de texto no tienen en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica.

Además del profesorado, los libros de texto son otra importante fuente a través de los cuales se transmiten conocimientos. Además, como ya se ha mencionado con anterioridad, aunque con ciertas reservas, estos libros permiten conocer las intenciones educativas del profesorado. Los intereses económicos que tienen estos libros les obligan a presentar propuestas que deban ser asumidas por el profesorado por lo que el análisis sobre éstos nos permite conocer, de forma estimativa, cuales son estas intenciones.

Por tanto, los resultados del análisis de textos nos permitirá, junto con los del diseño anterior, conocer si el profesorado, de forma general, tiene en cuenta las ideas previas, las dificultades de aprendizaje de ciertos conceptos, la Historia de cómo se produjo la aceptación de las teorías, etc. Es decir, si en general contemplan las características necesarias para lograr aprender de forma significativa, según las aportaciones que desde el campo de la psicología y de la didáctica se han venido realizando, en los últimos años, y que ya hemos comentado.

El diseño programado ha consistido en analizar el tratamiento que los libros de texto, de los niveles correspondientes a la Educación Secundaria, dan a la naturaleza corpuscular de la materia, a través de analizar aspectos considerados imprescindibles en la investigación didáctica como puede ser: si tienen en cuenta las ideas de los estudiantes respecto a la materialidad de los gases, si relacionan algún concepto con la evolución histórica que tuvieron o si presentan actividades específicas para poner de manifiesto los conflictos cognitivos que se presentan en el estudio de este tema. Estas ideas se cuantificaron a través de enunciar items referentes a estos y otros aspectos de la forma de enseñar el tema de la naturaleza corpuscular de la materia.

El cuestionario se encuentra en el documento-12, el número de libros analizados ha sido de 71 correspondientes a los niveles de 8° de EGB, 2° y 3° de BUP, COU y ESO. Estos libros son los presentados por las editoriales de mayor venta en nuestro país y, consecuentemente, son los más usados en las aulas. Por tanto, además de haber analizado un número de textos suficientemente significativo, esta significatividad queda aumentada al resultar ser éstos los más utilizados por el profesorado.

DOCUMENTO 12 Protocolo para el análisis de texto

1. Se estudian los gases SI/NO
 - 1.2. Lo hacen en el tema de la naturaleza corpuscular
de la materia SI/NO
 - 1.3. Se expresa de forma explícita que los gases
tiene masa o peso SI/NO
 - 1.4. Propone actividades que permitan confirmar que
los gases tienen masa o peso SI/NO
 - 1.5. Se hacen comentarios históricos sobre las dificultades
acerca de la materialidad de los gases SI/NO

2. Se trata la ley de la conservación de la masa. SI/NO
 - 2.1. Se expone literalmente la ley SI/NO
 - 2.2. Se ponen actividades de comprobación de la ley
en procesos en los que intervienen gases..... SI/NO
 - 2.3. Se hace algún tipo de referencia acerca de los
obstáculos que se presentaron en la historia
para aceptar la ley..... SI/NO

3. Trata la primera hipótesis de Avogadro SI/NO
 - 3.1. Se introduce en el capítulo de la teoría atómica de
la materia SI/NO
 - 3.2. Se dice, al menos en forma declarativa, cuál es
el problema que pretende resolverse..... SI/NO
 - 3.3. La relaciona con el modelo de gases SI/NO

A continuación presentamos un esquema en el que figuran las consecuencias de esta primera hipótesis con el resumen de los diseños programados para contrastarlas.

Consecuencias contrastables de cada una de las hipótesis derivadas	Diseños programados para contrastarlas
<p><u>A.</u> Poca significatividad en el aprendizaje del alumnado instruido a través de estrategias convencionales de enseñanza.</p> <p><u>A.1.</u> Dificultades en asumir la materialidad de los gases mismo nivel que la de los sólidos y líquidos.</p> <p><u>A.2.</u> Dificultades para interpretar la conservación de la masa en procesos donde participan los gases.</p>	<p>D.1. A través de un proceso de evaporación se preguntan cuestiones sobre la masa, el peso y la cantidad de sustancia. Se realizan cuestiones. (1198 alumnos y alumnas desde 7º de EGB hasta COU) (curso 1988/89)</p> <p>D.2. Se proponen varios procesos en los que se va produciendo una progresiva desaparición aparente de "materia corpórea". (La muestra y el curso es la misma del diseño anterior D.1)</p> <p>D.3. Cuestión para comprobar las dificultades en asumir la participación de un gas, como el oxígeno (reactivo), en una oxidación. (las mismas condiciones de los anteriores)</p> <p>D.4. Lo mismo que en el diseño anterior (D.3) pero a través de una experiencia como es la combustión del Mg. (77 alumnos y alumnas de 2º de BUP y 31 de 2º de Magisterio de opción de Ciencias) (curso 1994/95).</p> <p>D.5. Cuestión para comprobar las dificultades que tienen</p>

<p><u>A.3.</u> Al ser la presión atmosférica una consecuencia del peso del aire, el alumnado mostrarán dificultades en aceptarla.</p>	<p>admitir la presión atmosférica a través de interpretar por qué cae el líquido de una botella invertida en un recipiente con agua (45 alumnos y alumnas de 2º de Magisterio de la opción de Ciencias (curso 1995/96).</p> <p>D.6. Idem a través de justificar por qué una ventosa que se pega en la pared. (33 alumnos y alumnas de 1º de Magisterio de la opción de Ciencias (curso 1995/96)</p>
<p><u>A.4.</u> Las ideas que los estudiantes pueden tener sobre el modelo de gas no serán estables.</p>	<p>D.7. Entrevistas realizadas durante el curso 1988/89 a 100 alumnos que estudiaban desde 7º de EGB hasta 2º de BUP para conocer sus ideas sobre los gases.</p>
<p><u>A.5.</u> El comportamiento diferente entre los gases y los sólidos y líquidos hace que los estudiantes muestren dificultades para extrapolar el modelo de gases a los otros estados de la materia.</p>	<p>D.8. Dos cuestiones con el mismo enunciado referidas al posible modelo de partículas. Una de ellas relacionado con un gas (oxígeno) y otro con un sólido (hierro). (337 alumnos de BUP y COU) (curso 1992/93).</p> <p>D.9. Cuestión presentada a 104 alumnos de 2º de BUP en la que se presenta el calentamiento de un sólido como el hierro y se solicita que interprete la dilatación a través de indicar lo que sucede a las partículas. () (curso 1992/93).</p> <p>D.10 Cuestión en la que se muestra la condensación del “vapor de agua” y se solicita que la interpreten dibujando lo que sucede.</p>

A.6. El aprendizaje poco significativo también se mostrará en las dificultades que tendrán para relacionar aspectos macroscópicos con microscópicos.

B. La enseñanza habitual de la naturaleza corpuscular de la materia no tiene en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica sobre este tema.

B.1. La mayoría del profesorado no tiene en cuenta las ideas del alumnado respecto a la materialidad de los gases .

B.2. La mayoría de los libros de texto no tienen en cuenta las ideas del alumnado en esas edades ni las dificultades para comprender algunos de los conceptos de la naturaleza corpuscular de la materia.

D.12. Cuestionario dirigido al profesorado de secundaria al que se le pregunta sobre algunos de los aspectos sobre qué y cómo enseñan el tema de la naturaleza corpuscular de la materia. (20 profesores de EGB y 30 de EEMM asistentes a cursos de formación sobre didáctica de la Química) (curso 1993/94).

D.13. Análisis de libros de texto con un cuestionario dirigido a comprobar cómo presentan éstos el tema de la naturaleza corpuscular de la materia. (71 libros de 7º y 8º de EGB y 2º de BUP).

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRIMERA HIPÓTESIS PRINCIPAL

Una vez expuestos los diseños experimentales propuestos para contrastar las consecuencias derivadas de las hipótesis derivadas de H-1, procedemos en este capítulo a exponer y analizar los resultados de los mismos

4.1. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CONCERNIENTES A LAS DIFICULTADES DE APRENDIZAJE EN LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

Para contrastar la falta de aprendizaje significativo logrado sobre la naturaleza corpuscular de la materia, al aplicar metodologías tradicionales de enseñanza, se prepararon diseños basados en cuestionarios dirigidos a averiguar las concepciones alternativas de los estudiantes, después de haber estudiado el tema. Según ya se comentó, el aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia requiere que el estudiante no sólo llegue a describir las propiedades generales de la materia y, además las específicas de los gases, líquidos y sólidos (nivel macroscópico) sino que, además, ha de saber interpretarlas de forma coherente y cualitativa con el modelo cinético corpuscular (nivel submicroscópico).

Por otra parte, la investigación didáctica ha puesto de manifiesto la existencia de dificultades de aprendizaje en los dos niveles, por esa razón, los diseños experimentales pertenecen a ambos. Comenzaremos, en primer lugar, analizando los resultados obtenidos al aplicar los instrumentos diseñados para comprobar las dificultades que los estudiantes tienen respecto a la materialidad de

los gases y, en segundo lugar, abordaremos las que tratan de resaltar las dificultades existentes en la aceptación del modelo cinético.

A continuación pasamos a exponer los resultados obtenidos en esos diseños así como los análisis correspondientes.

4.1.1. Concepciones alternativas del alumnado respecto a la materialidad de los gases en la vaporización.

Para averiguar las posibles concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria se preparó el diseño D.1 (Pg 93) que constaba de cuatro items referidos todos a un mismo hecho experimental, la transformación de un líquido en gas en un recipiente cerrado.

Este diseño se fundamentaba en la idea de que la mayoría de los alumnos y alumnas consideran como propiamente materiales a los sólidos y líquidos -en cuanto que tienen masa, volumen y peso- pero no así ocurre con los gases. Por ello se propuso un cambio de estado en el que el líquido se transforma en gas. Recordemos que, en los tres primeros items, se preguntaba si la cantidad de sustancia, la masa y el peso se conservaban al vaporizar una cantidad de agua en un recipiente cerrado. El cuarto item pretendía comprobar la relación intuitiva existente entre falta de peso y flotabilidad. Partimos del supuesto de considerar que el esquema de conocimiento que maneja el alumno es que: *“El gas es algo sustancial apenas perceptible que no tiene masa y/o peso porque flota”*. Como la materialidad de los gases es algo que se introduce en los currícula de Ciencias a partir de la 2ª etapa de EGB, el análisis de la variación de respuestas en muestras de estudiantes hasta el nivel de COU no sólo nos permitirá contrastar que los logros del aprendizaje son pobres, en general, sino que además podemos extrapolar la influencia de la enseñanza impartida.

Los resultados se muestran en la tabla 4-1.

Tabla-4.1: Porcentaje de respuestas erróneas sobre la conservación de algunas propiedades generales de la materia al transformarse un líquido en gas.

Número y objetivo del ítem	Porcentaje de respuestas incorrectas (%)						
	7°EGB N=224	8°EGB N=175	1°BUP N=251	2°BUP N=138	3°BUP N=211	COU N=199	1°Mag N=33
1. ¿Se conserva la sustancia?	81	66	46	32	16	17	39
2. ¿Se conserva la masa?	86	87	77	58	49	51	75
3. ¿Se conserva el peso?	91	90	79	71	68	54	78
4. Los gases flotan	88	86	82	67	61	58	80

Para facilitar el análisis de los resultados se ha realizado la figura-1 en la que se muestra el porcentaje de respuestas erróneas correspondientes a los diferentes niveles educativos en cada uno de los cuatro ítems.

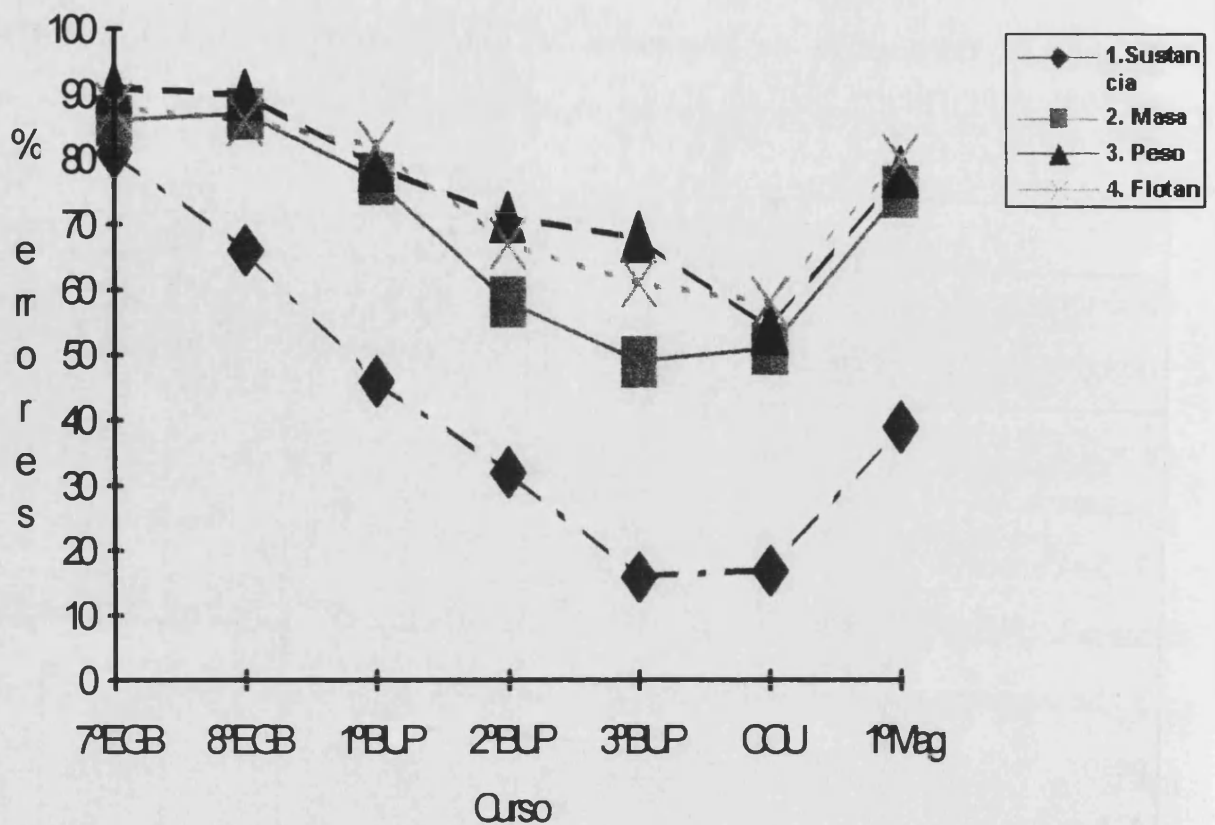


Fig.1: Conservación de propiedades en la vaporización

En ella se aprecia:

a) La mayoría de los alumnos de 7° de EGB, (81%) no son conservativos de la sustancia, de la masa y del peso en porcentajes elevados (entre un 80% y 90%), lo cual viene a mostrar que, en esas edades, la desaparición visual y perceptible de materia corpórea en este cambio se asocia con una pérdida sustancial.

b) A medida que avanzan en edad, se aprecia cómo se eleva significativamente la asunción de la conservación de la cantidad de sustancia, pero este progreso no es tan rápido en el caso de la masa o en el del peso, en la línea de los trabajos de Piaget (1942 y 1972). Es decir, los estudiantes de los niveles más elevados

consideran que, a pesar de que se produce una desaparición visual de materia corpórea, ésta no puede desaparecer y por ello de forma mayoritaria imaginan que la cantidad de sustancia debe mantenerse. Sin embargo, dado que las “evidencias de sentido común” muestran a los gases como sustancias que se “elevan”, continúan un gran porcentaje de ellos considerando que pesan menos que los líquidos, lo que significa que identifican el “no peso” con la flotabilidad, tal como se aprecia al comparar los porcentajes de respuestas erróneas a los ítems 3 y 4 (fig.2). En ella puede observarse como no existen prácticamente diferencias en todas y cada una de las muestras de estudiantes.

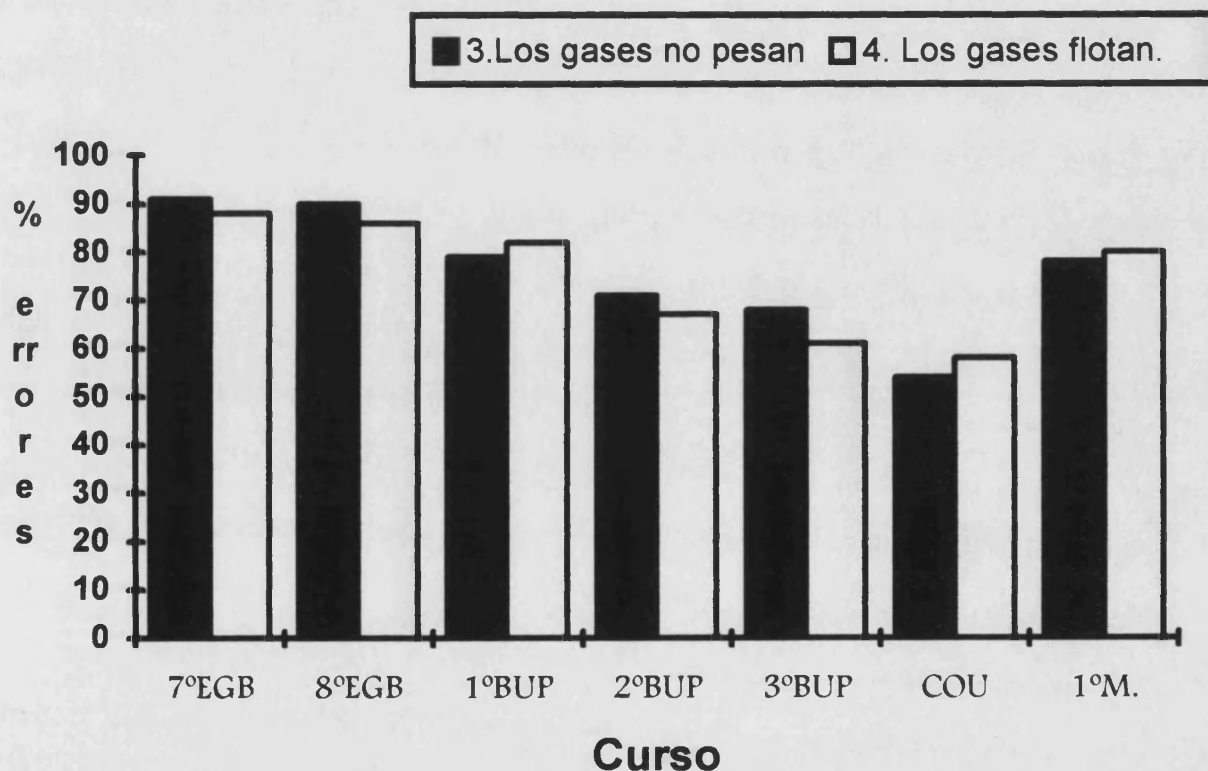


Fig.2: Equivalencia entre la idea de flotabilidad y la de ligereza.

c) Otro dato que merece comentario son los resultados correspondientes a la muestra de los estudiantes de Magisterio. El análisis de estos resultados nos conduce a las siguientes consideraciones:

i) El primer dato que nos llama la atención es comprobar cómo los resultados de éstos son muy similares a los obtenidos por los de 1º de BUP. La explicación puede atribuirse al origen de los estudiantes que forman las muestras. Pues, mientras las de 3º y COU están sesgadas hacia el Bachillerato científico la de Magisterio está formada por una mezcla de alumnos procedentes de letras, de FP que incluso no han estudiado el 2º de BUP, de acceso a mayores de 25 años, etc.

ii) Esta similitud viene a corroborar la idea de que los estudiantes llegan al comienzo del estudio del tema, en 2º de BUP, con concepciones alternativas, que se ven escasamente modificados por la instrucción recibida en el aula; pues, las diferencias entre los resultados de los de 1º de BUP y Magisterio con los de 3º de BUP y COU así lo manifiestan. Por último, otro dato elocuente es comprobar como la mitad de los estudiantes de COU no asumen la conservación de la masa ni del peso en la vaporización, a pesar de las numerosas veces en las que habrán considerado ejercicios basados en la ley de la conservación de la masa.

4.1.2. La masa no se conserva cuando se producen cambios en los que intervienen gases.

Los resultados anteriores han mostrado las dificultades que tienen los alumnos en asumir la materialidad de los gases al mismo nivel que la de los sólidos o líquidos. Por otra parte, las transformaciones químicas más comúnmente utilizadas en estos niveles son aquellas que tienen lugar con intervención de gases, ya que las oxidaciones suelen ser las más conocidas, por tanto una consecuencia lógica de los resultados del diseño anterior será contrastar que los estudiantes deberán tener, también, dificultades para asumir la conservación de la masa que se generan en procesos químicos en los que intervengan gases. Para

verificarlo se propusieron tres diseños, uno en el que los gases actúan como productos de reacción y otros dos para comprobar que no consideran al oxígeno como un reactivo material que interviene en las combustiones y oxidaciones. en los que actúan como reactivos.

4.1.2.a. Análisis de los resultados del cuestionario del documento-2 relativo a contrastar la conservación o no de la masa en procesos en los que se forman gases.

El doc-2 (pag. 97) contenía varios items a través de los cuales se pretendía comprobar cómo, el alumnado, al no asumir la materialidad de los gases encuentran dificultades para aceptar la conservación de la masa en aquellos procesos en los que se forman gases, a pesar de que conozcan la ley que la establece. Para ello se eligieron una serie de procesos en los cuales fueron gradualmente desapareciendo en mayor proporción las sustancias reactivas que se encuentran en estado sólido o líquido. El proceso que se tomó como referente inicial fue el de la disolución acuosa del azúcar donde no se forman gases (y, por tanto, donde los estudiantes deberían ser más conservativos). Los otros procesos, en el gradiente considerado fueron, como se recordará, la disolución de una aspirina efervescente, la combustión del papel y, finalmente, también se incluía el item de la vaporización del cuestionario anterior, en el que hay desaparición total del líquido. La muestra era la misma del diseño anterior a excepción del grupo de Magisterio. Los resultados obtenidos se han tabulado en la tabla-4.2.

Tabla 4.2. Porcentaje de respuestas erróneas a los procesos del cuestionario-2 en función del curso.

Porcentajes de respuestas erróneas al documento-2							
	7°EGB	8°EGB	1°BUP	2°BUP	3°BUP	COU	TOTAL
	N = 224	N = 175	N = 251	N = 138	N = 211	N = 199	N=1198
1.Dis.Azúcar	49	34	42	23	23	19	32
2.Aspiri eferv	67	50	65	44	35	32	50
3.Comb papel	81	86	77	67	47	44	67
4.Vaporizac.	86	87	77	68	49	51	74

En la figura 3 se puede observar, de forma más gráfica, la evolución de los porcentajes de la última columna correspondiente a la suma de los resultados por curso. La tendencia de esta gráfica coincide con la producida en cada uno de los cursos.

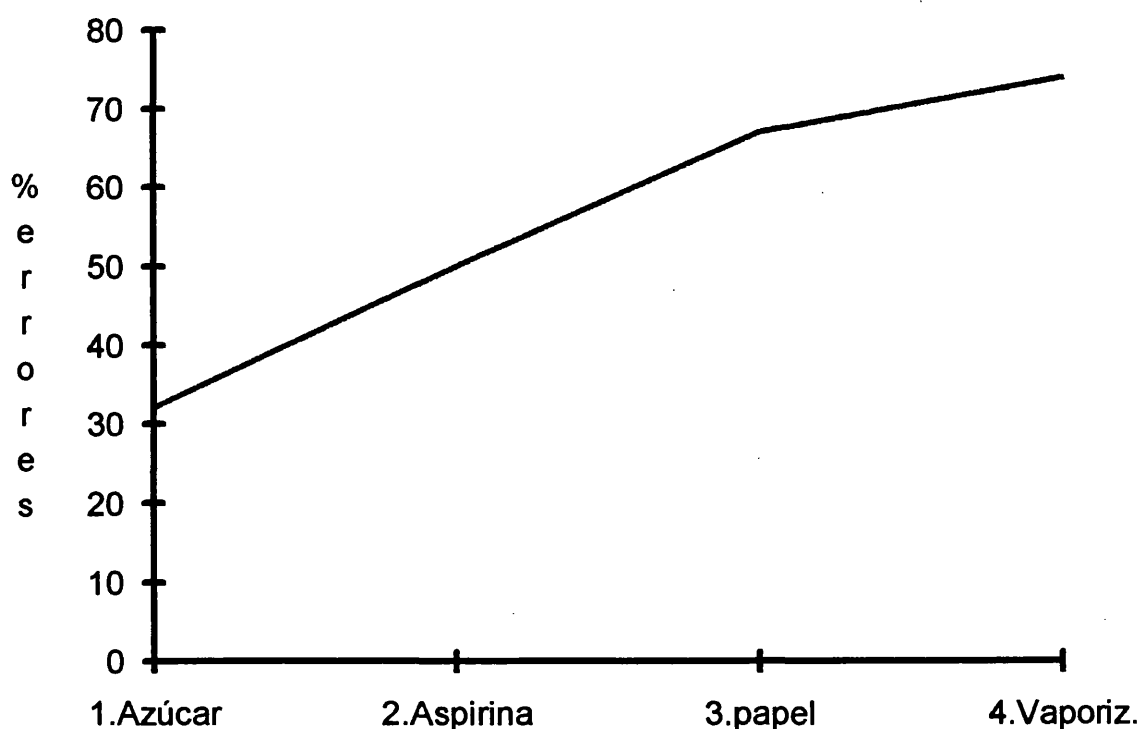


Fig 3: Conservación de la masa en procesos en que intervienen gases

Al analizar los resultados encontramos:

a) En primer lugar se observa cómo el porcentaje de respuestas erróneas aumentan en todos los niveles conforme lo hace la formación de gases, o lo que es lo mismo, conforme aumenta la desaparición de materia corpórea.

b) La influencia de la enseñanza en el aprendizaje se detecta al comparar los resultados a partir de 1° de BUP. Pues, es en 2° de BUP cuando por primera vez se estudian estos conceptos con cierta profundidad. Por tanto, los resultados de 1° podemos considerar que muestran las concepciones alternativas y sus diferencias permiten deducir consecuencias sobre la enseñanza recibida.

Así, en el primer ítem, el correspondiente a la disolución de azúcar -no se producen gases- y la mejora producida va de un 42% a un 23%; es decir una variación de prácticamente un 20%. La misma variación que se produce con la aspirina, ésta se reduce cuando se pasa a la combustión del papel y a la vaporización (10% de diferencia) lo que es un dato indicativo de la mayor dificultad de estos ítems.

c) Los resultados de la columna correspondiente a los de COU muestra la ineficacia de la enseñanza ya que son un 50% aproximadamente los alumnos que consideran que en la vaporización se “pierde masa” a pesar de haber estudiado varias veces las reacciones químicas y haber realizado numerosos ejercicios o problemas en los que han utilizado la ley de la conservación de la masa.

4.1.2.b. Contrastación de la dificultad que los estudiantes tienen para considerar al oxígeno como reactivo material que interviene en la oxidación del hierro.

Según expusimos en la explicación de los diseños la no asimilación de la materialidad de los gases provoca que la mayoría de los estudiantes no asuman la conservación de la masa en procesos en los que la formación de gases provoca una aparente desaparición de materia corpórea. Un caso de particular importancia, en la historia de la Química, fue la interpretación de las reacciones de combustión, ya que se tardó mucho tiempo en admitir la participación del oxígeno. El diseño-3 estuvo destinado a comprobar si también esta dificultad la encontraban los estudiantes de secundaria. Para comprobarlo se propuso el documento-3 (pág 100) y se refería al cambio de masa producido al oxidarse una determinada cantidad de hierro.

Los resultados se muestran en la tabla-4.3

Tabla-4.3. Porcentaje de respuestas erróneas al documento-3.

Objetivo del ítem	Porcentaje de respuestas incorrectas (%)					
	7°EGB N= 224	8°EGB N = 175	1°BUP N =251	2°BUP N = 138	3°BUP N = 211	COU N =199
La masa en la oxidación del hierro	78	73	65	39	35	32

Para analizar, de forma más efectiva los resultados registrados en la tabla-4.3, se ha representado la gráfica-4. En esta gráfica se representan los datos

correspondientes a esta tabla intercalado entre los correspondientes a la tabla anterior, pues, todos los items están referidos a transformaciones químicas y así poder realizar un análisis comparativo más efectivo.

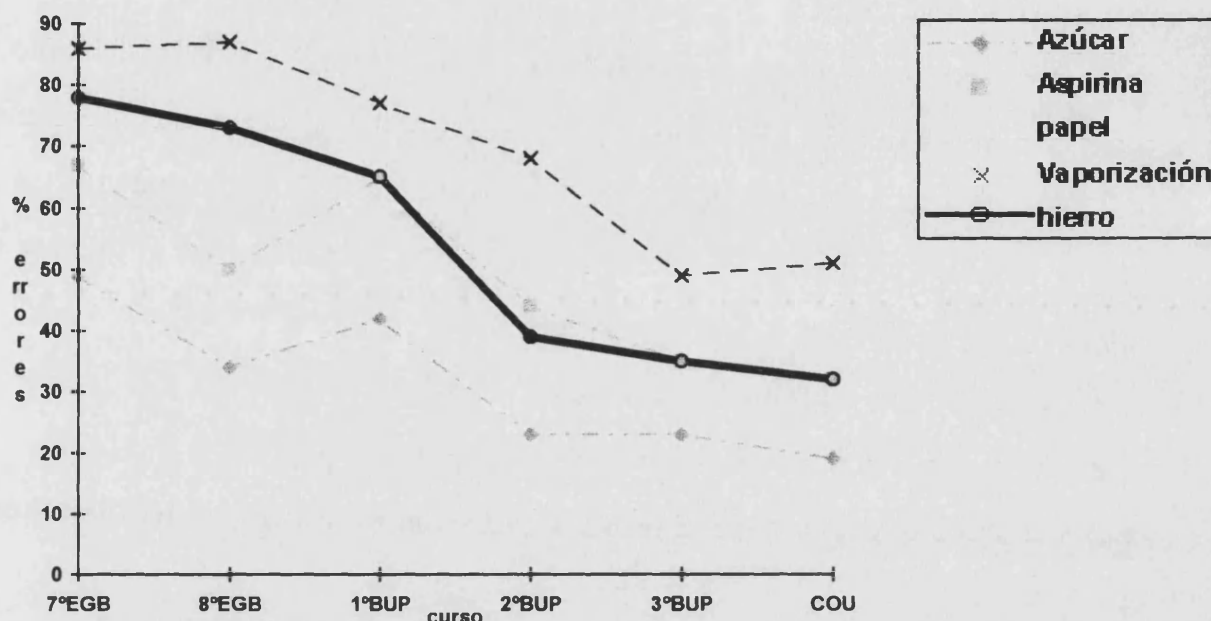


Fig. 4: La masa en procesos en los que intervienen gases.

Como se aprecia en la gráfica los resultados de la oxidación del hierro son, a partir de los de 1° de BUP, muy similares a los de la reacción de la aspirina, probablemente con la que más similitud presenta en cuanto a la participación de gases en el proceso. En consecuencia, estos resultados nos permiten confirmar que las dificultades del alumnado para aplicar correctamente las relaciones de masa en procesos en los que interviene gases se debe, principalmente, a las que tienen en aceptar la materialidad de éstos.

4.1.2.c. Segundo diseño para comprobar las dificultades en considerar al oxígeno como reactivo en la combustión del magnesio.

El segundo diseño se basaba en una encuesta sobre la combustión del magnesio -documento 4- pasada a 77 alumnos de 2º de BUP, que estaban estudiando la teoría atómico-molecular de la materia y ya habían debatido en clase los conceptos de sustancia y mezcla, así como el de sustancia simple y compuesto, y a 31 estudiantes de 2º de Magisterio. El problema que se les planteó estaba relacionado con las relaciones de masa producidas al quemar una laminilla de Mg de unos 5 cm de longitud.

La tabla 4.4, presenta los resultados obtenidos.

Tabla 4.4. Porcentaje de respuestas a cada uno de los items del documento-4.

Nº de item	Categoría de respuesta	2ºBUP (N = 77)	2ºMAG (N = 31)
1	No tienen en cuenta el oxígeno del aire	80	52
2	El peso de la ceniza es menor que el del Mg	84	64
3	El peso de la ceniza y del Mg son iguales	10	26
4	El peso de la ceniza es mayor que el del Mg	1	6
5	No contestan	5	3

El análisis de estos resultados conducen a las siguientes apreciaciones:

1º. El porcentaje de respuestas que no tienen en cuenta la intervención del oxígeno en la reacción pone de manifiesto la dificultad que tienen en interpretar

correctamente procesos en los cuales la intervención de alguna de las sustancias no son apreciables visualmente.

2°. Sólo 1 estudiante de 2° de BUP (1,3%) y 2 de Magisterio (6,4%) son capaces de interpretar la oxidación admitiendo que el magnesio gana masa al oxidarse.

3°. La respuesta mayoritaria corresponde a la que considera que la ceniza pesa menos que el Mg (84% de 2° de BUP y 64% de MAG.). Es decir que, a pesar de que en 2° de BUP habían estudiado recientemente el principio de conservación de la masa y el concepto de reacción química, se responde confiando más en las evidencias de “sentido común” que en la aplicación de los principios y conceptos científicos estudiados en clase.

Además de la cuantificación de resultados mostrados también se han realizado análisis cualitativos sobre las respuestas dadas por la muestra de 2° de BUP, la mayoría de éstas son una simple descripción sin explicación de lo que habían observado; pero otros permiten extraer conclusiones relativas a las dificultades que tienen para asociar a estas transformaciones aquellas sustancias gaseosas como el oxígeno y muestran, una vez más, como existe un cierto paralelismo entre algunas interpretaciones teóricas anteriores a la construcción de la Química como Ciencia y las que manifiestan algunos alumnos. Así, se registraron explicaciones como:

" pierde parte del contenido inflamable"

"pierde peso porque algo ha desaparecido"

"la llama consume materia"

"al saltar la chispa se pierde peso en forma de calor"

"la ceniza no pesa casi"

Esta actividad se propuso primero a los estudiantes de Magisterio y al comprobar que sólo 1 había considerado el mayor peso a la ceniza, se propuso, a la muestra de 2º, otra actividad que nos permitiese averiguar cuántos alumnos eran capaces de imaginar la intervención del oxígeno del aire después de haberles dado el dato de que la ceniza pesaba más que el magnesio.

Los resultados mostraron que sólo el **22%** atribuyeron el aumento a la participación de algún gas mientras la mayoría (**42%**), optaba por dejar la respuesta "en blanco". Es decir, casi la mitad de la muestra fue incapaz de encontrar algún tipo de justificación, a pesar de que el entrevistador previamente les había invitado a realizar un esfuerzo para encontrarla sin importarles la posible erroneidad de la misma.

El resto de respuestas (el **32%**) corresponde a diversos tipos de justificaciones algunas de las cuales nos acercan al posible paralelismo histórico anteriormente mencionado. Así, algunas de las justificaciones al hecho del aumento de peso experimentado las explicaban por la intervención del fuego:

"las partículas del fuego se unen al magnesio"

o con ideas similares a las mantenidas en la época del flogisto

"al quemarse el oxígeno que tenía el magnesio se ha perdido y el otro (la ceniza) pesa más"

Por tanto, todos estos resultados vienen a mostrar la poca incidencia que tiene la enseñanza que han recibido estos estudiantes. Tanto los alumnos de 2º de BUP y, en menor medida, los de 2º de Magisterio han recibido enseñanzas recientes sobre los gases, la naturaleza corpuscular de la materia y las transformaciones químicas, en particular las oxidaciones y las combustiones de metales.

4.1.3. Los estudiantes no utilizan la presión atmosférica para justificar hechos observados en la vida cotidiana.

La presencia de los gases así como sus efectos no son percibidos, principalmente si éstos no están en movimiento (Seré 1985, Meheut 1996). Para comprobarlo se prepararon dos cuestiones, ambos relacionados con la presión ejercida por las partículas existentes en el fondo del “mar de aire atmosférico”. Las muestras utilizadas fueron dos grupos de estudiantes de 2º de Magisterio de la sección de Ciencias de distintos cursos académicos, antes de comenzar a estudiar los gases.

La primera pregunta consistía en solicitar a los alumnos que explicasen porqué una botella llena de agua al invertirla e introducirla en un recipiente en el que también había agua, no se vaciaba (pág. 104). Las respuestas se clasificaron en categorías atendiendo fundamentalmente a los siguientes criterios:

- a) Respuestas correctas o casi correctas cuando explicitan cualitativamente que se debe a la acción (o peso) del aire atmosférico que gravita sobre el fondo del “mar de aire” en el que estamos inmersos y mucho mayor que el peso de la columna de líquido que había en el interior de la botella.
- b) Dan como respuesta que la presión del agua interior es mayor pero sin explicar que ello es debido al aire exterior que presiona sobre una superficie.
- c) Respuestas causales que hacen referencia implícita a la antigua hipótesis del “horror al vacío”.
- d) Otras respuestas incorrectas.

En la segunda cuestión se apretaba una ventosa sobre la pared y se preguntaba por qué se quedaba pegada. En este caso, se categorizan las respuestas en 3 grandes grupos de respuestas todas ellas incorrectas. En efecto, en ningún caso se explicita que la presión del aire atmosférico exterior es mayor que la presión del aire que ha quedado encerrado en la ventosa.

Las tablas 4.5 y 4.6 recogen los porcentajes de cada una de las categorías de respuestas encontradas en la 1ª y la 2ª cuestiones, respectivamente.

Tabla. 4.5: Porcentaje obtenido en las categorías de respuestas dadas por los alumnos de 2º de Magisterio a la primera cuestión del documento (N= 45).

<u>Categoría de respuesta</u>	<u>%</u>
A) Correctas o casi correctas (denotan la existencia de la presión atmosférica en sus contestaciones)	11%
B) Porque la presión del agua que hay debajo es mayor....	47%
... Pero hay equilibrio porque se igualan las presiones	24%
C) Porque no puede pasar aire a la botella (horror al vacío)...	15%
D) Otras razones (tensión superficial, igualdad de densidades del agua de la botella y de la pila).....	15%
E) Incodificables	11%

Tabla 4.6: Porcentaje encontrado en las distintas categorías de respuesta a la pregunta del por qué no cae la ventosa (N = 33).

<u>Categoría de respuestas</u>	<u>%</u>
A. <u>Meramente descriptivas</u> “Porque la ventosa hace fuerza o presión sobre la pared”	21
B. <u>Con razonamientos causales:</u>	
B.1. Debido a que no se ha sacado todo el aire: “ <i>Hay una fuerza de la ventosa sobre la pared porque queda una cámara de aire</i> ”..	21
B.2. Debido a que el aire está comprimido: “ <i>Porque al apretar queda aire comprimido y la ventosa queda pegada.</i> ”	21
B.3. Se atribuye a la acción del vacío producido. “ <i>Porque al apretar no queda aire entre la ventosa y la pared. O sea, porque hay un vacío entre los dos objetos</i> ”	21
C) Incodificables	6
D) En blanco	9

Los resultados obtenidos, en estas dos cuestiones, son convergentes con los hallados en los anteriores diseños, dado que aceptar la existencia de la presión atmosférica es consecuencia de conocer que el aire gravita o pesa sobre el fondo del “mar de aire” en el que nos encontramos. Así, sólomente el 11% de la muestra de estudiantes consultados asume que el peso del aire atmosférico es superior al de la columna de agua en la botella, interpretación muy similar a la realizada en la experiencia de Torricelli. Mientras que al proponer una pregunta relacionada con un hecho menos familiar escolarmente, como el de la ventosa, **ninguno** de los encuestados fue capaz de dar una justificación correcta, lo que

reafirma la hipótesis de que los estudiantes no tienen en cuenta la acción del aire atmosférico y la enseñanza recibida no les ha ayudado a comprender este concepto de tanta importancia para la comprensión del mundo físico.

4.1.4. Las ideas alternativas de los estudiantes sobre la estructura interna de los gases al explicar sus propiedades específicas son bastante inestables.

En los capítulos correspondientes a la fundamentación teórica de las hipótesis se justificó que los estudiantes llegan al aula con concepciones alternativas adquiridas por diversas causas y que mientras el esquema alternativo macroscópico de la inmaterialidad de los gases es, como se ha mostrado, bastante persistente no sucede lo mismo con las concepciones que tienen sobre la estructura submicroscópica de los gases.

Para comprobarlo se diseñó una entrevista estructurada sobre el comportamiento de los gases (documento nº 6 -pág. 108). Esta entrevista se aplicó a 59 estudiantes desde 7º de EGB hasta 3º de BUP con el objetivo de contrastar si manejaban modelos estables de gases, entre 5 diferentes que se les presentaban, al tener que interpretar una serie de propiedades específicas de éstos (que ocupan todo el volumen posible, que se comprimen y expanden fácilmente, que se dilatan y contraen térmicamente y que se mezclan o difunden también con facilidad).

En la tabla-4.7 figura el número de alumnos que han cambiado de modelo en alguna de las fases de la entrevista, agrupados según el curso al que están adscritos.

Tabla 4.7 : Número y porcentaje de alumnos que cambian de modelo en alguna de las fases de la entrevista.

	7°EGB (N = 12)	8°EGB (N = 12)	1°BUP (N = 15)	2°BUP (N = 11)	3°BUP (N = 9)	Total (N = 59)
Número de alumnos	12	9	10	7	5	43
Porcentaje	100	75	67	64	55	73

Los resultados ponen de manifiesto que la mayor parte de ellos (el 73%) no tienen ideas consistentes sobre cómo es una gas por dentro y cambian frecuentemente de modelo según la propiedad a explicar. La mayor inestabilidad de la muestra de 7° de EGB se explica porque todavía no habían comenzado a estudiar el modelo de gases. A partir de 8° de EGB se constató que la mayoría de los que son fieles al primer modelo eran aquellos que habían elegido el modelo cinético elemental.

Otras consideraciones deducidas de las entrevistas son:

1ª. Todos los entrevistados comienzan inclinándose por modelos que permitan justificar que el gas ocupa todo el volumen del recipiente, debido probablemente, a la experiencia previa que se hizo por la cual podían observar que el agua no caía hasta que no se facilitaba la salida del aire del matraz.

2ª. De forma muy mayoritaria los estudiantes comienzan decantándose hacia modelos en los que hay dibujados partículas debido, seguramente, a la formación recibida tanto en la escuela como en el entorno (Llorens 1991), si bien esta afirmación no significa necesariamente que admita los atributos que ella supone.

3ª. La mayor frecuencia en el cambio de modelos se produce cuando tienen que interpretar la difusibilidad. En efecto, se comprueba que de los 15 entrevistados, que antes se habían decidido por un modelo formado por partículas en reposo (modelo estático) ninguno lo mantiene; o lo que es lo mismo, la difusibilidad parece ser la propiedad más útil para que los alumnos cambien de un modelo estático a otro cinético.

4ª. Otro dato interesante es el que se extrae al analizar la evolución de aquellos alumnos que comienzan por el modelo cinético. Se comprueba que de los 26 estudiantes que comenzaron por ese modelo sólo 2 finalizan con otro diferente y 18 de ellos (el 69%) lo mantienen en todo el proceso. Es decir, el modelo cinético correcto es mucho más estable que los alternativos.

5ª. Por último, el 78% de todos los participantes finalizan admitiendo el modelo cinético. Este resultado presenta, de entrada, unas claras implicaciones didácticas respecto a la necesidad de impulsar la participación activa del estudiante para efectuar el cambio conceptual; es decir, es una muestra de cómo los propios alumnos pueden construir el conocimiento -el modelo de gas en este caso- cuando son dirigidos mediante el análisis y reflexión de actividades adecuadas.

En consecuencia se ha mostrado que las ideas alternativas que los estudiantes poseen sobre los modelos de gases utilizados son poco resistentes y que basta facilitar la autorreflexión de los estudiantes para que cambien hacia un modelo elemental cinético científicamente aceptado.

4.1.5. Dificultades de los estudiantes para extrapolar el modelo cinético de los gases a los sólidos.

Los resultados de los diseños experimentales anteriormente analizados nos han permitido contrastar la poca eficacia de la enseñanza al evidenciar las dificultades que tienen los estudiantes cuando intentan aplicar la naturaleza corpuscular de los gases en la interpretación de hechos macroscópicos observados. Ahora, bien, cuando hay que extrapolar el modelo cinético (incluyendo ahora las interacciones entre partículas) aparecen nuevos problemas.

Por ejemplo, la percepción estática que caracteriza macroscópicamente a los sólidos será contradictoria con una estructura aceptada para la materia que se basa en el movimiento de partículas. Además de esta dificultad, recordemos que había dos pruebas: la interpretación de la dilatación de sólidos y la de la condensación de vapor. Pasemos, pues, a presentar y analizar los resultados encontrados en estos tres instrumentos.

4.1.5. a) El movimiento de partículas en los sólidos no está mayoritariamente asumido.

Recordemos que, en este caso, el documento nº7 (pág. 111) era un cuestionario con 2 preguntas de opción múltiple, donde el estudiante tenía que optar por una estructura discontinua estática (a), cinética con huecos (b) o vibratoria (c) para interpretar el comportamiento de un gas como el oxígeno y de un sólido como el hierro. Los resultados, en forma de porcentajes, se presentan en la tabla 4.9.

Tabla 4.8: Porcentaje de respuesta a los modelos de gas y sólido

Modelo elegido	1ºBUP (N = 75)		2ºBUP (N = 91)		3ºBUP (N = 116)		COU (N = 55)		TOTAL (N=337)	
	GAS	SOL	GAS	SOL	GAS	SOL	GAS	SOL	GAS	SOL
a)Mod. estat	22	48	6	51	9	65	4	56	11	58
b)Mód. cinét	41	8	77	25	79	16	78	9	71	16
c)Mód. vibrat	10	13	7	11	24	30	14	29	14	21
d)No contestar	3	4	2	4	3	3	5	4	3	4

Para realizar al análisis de esta tabla hemos procedido a hacer varias representaciones gráficas. Las dos primeras (fig-5 y fig-6) muestran el porcentaje de alumnos que se decantan por los respectivos modelos para el gas y para el sólido.

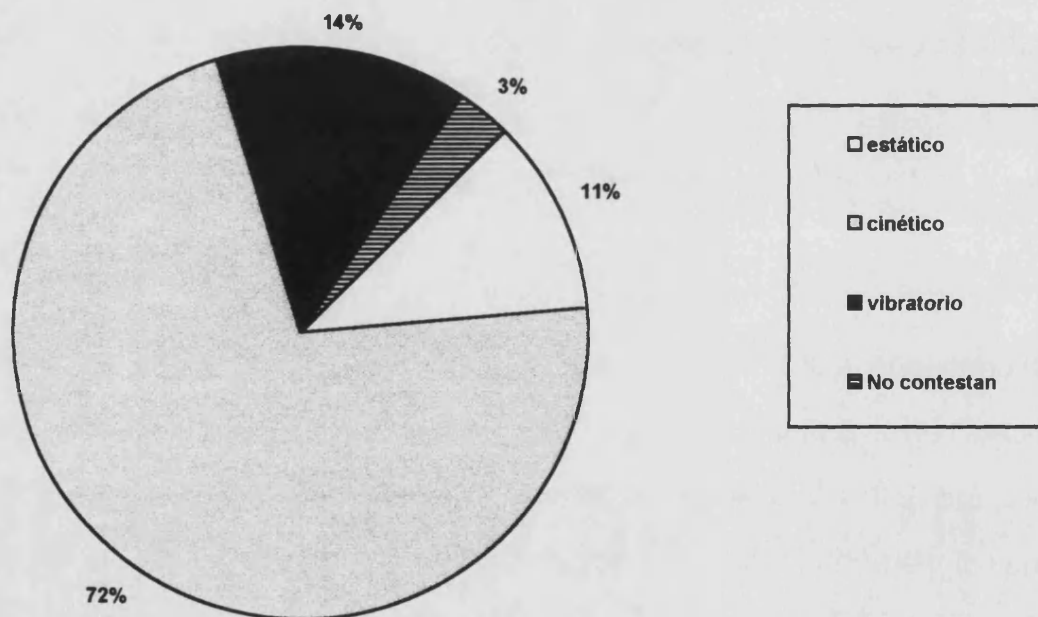


Fig 5: Elección de modelo para interpretar el comportamiento del gas.

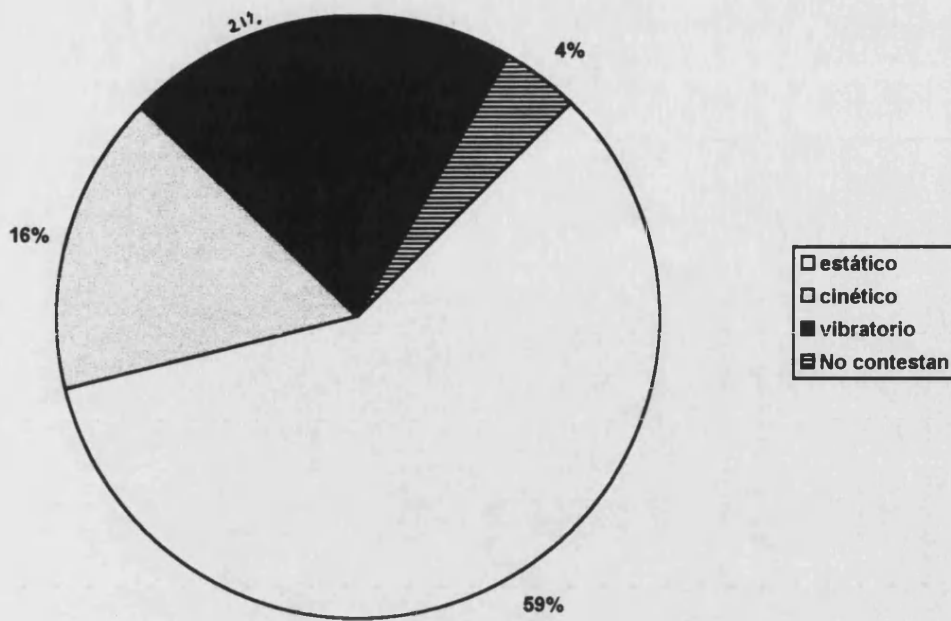


Fig.6: Elección de modelo para interpretar el estado sólido.

La observación simultánea de los resultados para los dos estados muestran claramente como mientras en el gas el cinético llega a ser admitido por una mayoría, en el estado sólido es el estático el elegido como muestran las figuras (figuras 7,8,9 y 10) que a continuación se representan.

1º DE BUP

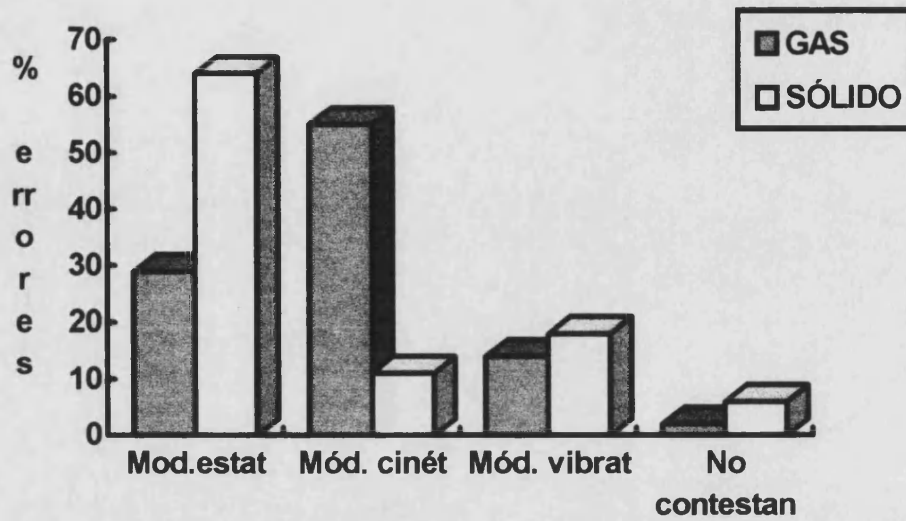


Fig 7: Comparación entre los modelos para el sólido y el gas en alumnos de 1º de BUP.

2º DE BUP

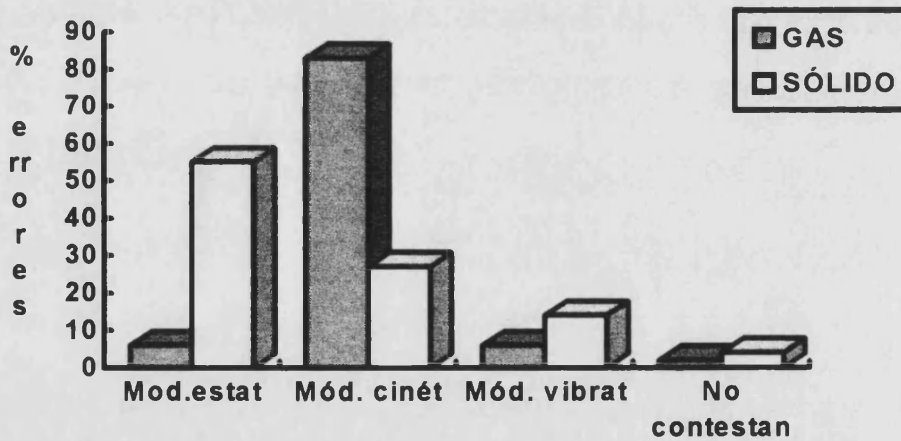


Fig 8: Comparación entre los modelos para el sólido y el gas en alumnos de 2º de BUP.

3° de BUP

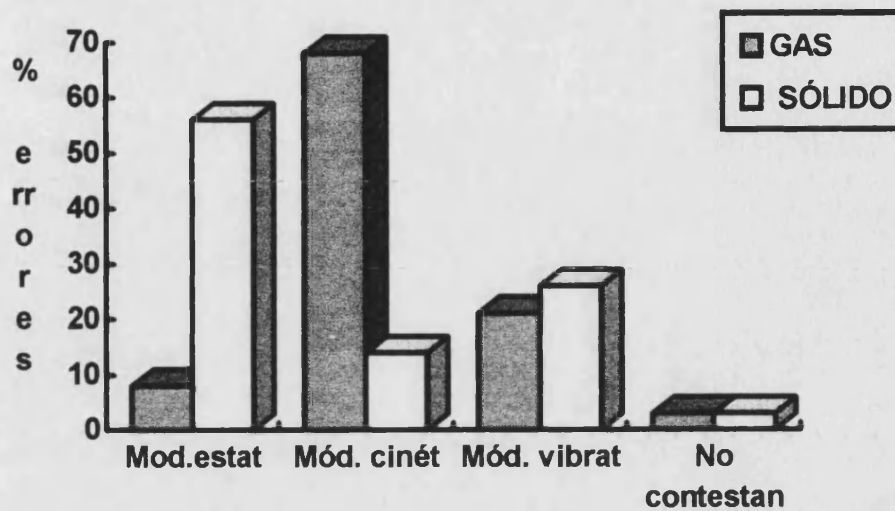


Fig 9: Comparación entre los modelos para el sólido y el gas en alumnos de 3° de BUP.

COU

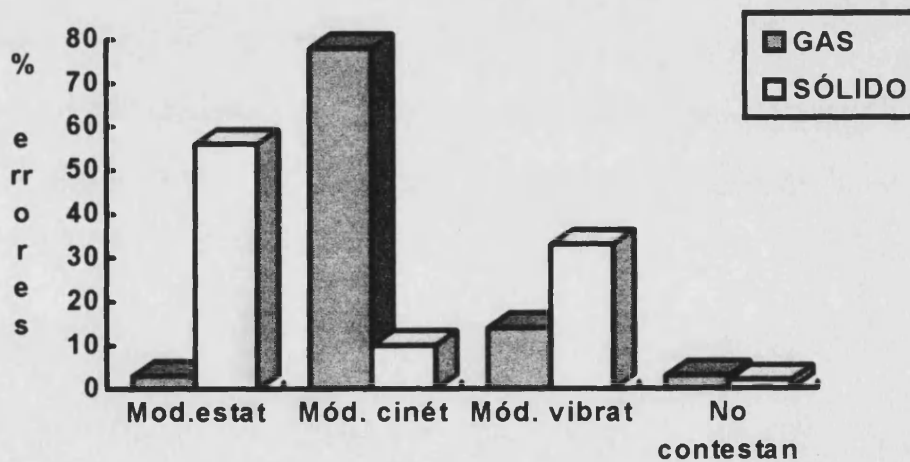


Fig 10: Comparación entre los modelos para el sólido y el gas en alumnos de COU.

Estas gráficas ponen de manifiesto una diferencia apreciable entre los que aceptan el movimiento de partículas en los gases y no en los sólidos, lo que pone

de manifiesto la mayor dificultad que tiene el modelo en los sólidos al tener que asumir un nuevo postulado basado en las interacciones entre partículas que hace posible la condensación de la materia “venciendo” así el movimiento térmico “natural” de las partículas libres. Al mismo tiempo al no poner en cuestión sus evidencias empíricas tampoco aceptan la existencia de huecos en el sólido y, en consecuencia, no es imaginable el posible movimiento de las partículas.

Ahora bien, como en otros diseños, la comprobación de la evolución de las respuestas es una prueba más de la ineficacia de la enseñanza ya que hay prácticamente una coincidencia total entre los resultados de 2º, 3º y COU.

4.1.5. b) ¿Cómo interpretan los estudiantes la dilatación térmica de los sólidos?

En la misma línea de la experiencia anterior se diseñó otra cuya finalidad era comprobar cómo la dificultad en asumir el movimiento de partículas en los sólidos conduce a que de forma mayoritaria no justifiquen las propiedades de la materia en base al modelo cinético. La propiedad elegida fue una conocida por los estudiantes de estos niveles como es la dilatación. La convergencia con los resultados del anterior servirán para reforzar la contrastación así como para comprobar las consecuencias que para el proceso de aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia tendrá la correcta transmisión de la extrapolación del modelo cinético de los gases a los otros estados.

La prueba solicitaba que explicasen lo que sucede a las partículas de un sólido cuando éste se dilata al aumentar la temperatura. Para facilitar la redacción se solicitaba que dibujasen cómo se imaginan que estarán las partículas antes y después de calentar (documento 8 -pág 113).

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro siguiente en el que se ha especificado el porcentaje de alumnos en función de la categoría de la respuesta citada o deducida por el dibujo realizado.

Tabla 4.9 : Porcentaje en cada una de las categorías de respuesta encontradas en estudiantes de 2º de BUP (N=103).

<u>Categoría de respuesta</u>	<u>Porcentaje</u>
A) Al calentar el metal las partículas se separan..... (visión estática)	32
B) Se separan “porque aumenta el recipiente “ (Nussbaum 1981).	15
C) Se dilatan las propias partículas	22
D) Al calentar el metal las partículas de hierro se mueven más rápidamente y por ello están más separadas	14
E) No responden o dan respuestas incodificables	16

Los resultados muestran que un 32% atribuye el aumento de volumen al movimiento de las partículas pero con una visión estática ya que para ellos ese movimiento sólo transcurre cuando se está calentando, como se desprende de la de los dibujos y explicaciones que acompañan las respuestas. Algunas respuestas comprendidos en esta categorización son:

"El aumento de volumen del hierro se debe a que con el calor las partículas se han separado"

"Al calentar una sustancia las partículas se separan produciendo el aumento de volumen"

Otro porcentaje significativo lo constituye aquellos que asignan a las partículas propiedades de las propias sustancias macroscópicas (Pozo et al

1991), al considerar que el aumento de volumen se debe a la dilatación que sufren las partículas (22%).

Por último comprobamos como sólo el 14% atribuyen la dilatación al aumento de la velocidad de las partículas, a pesar de haber estudiado recientemente el modelo de gas.

4.1.5.c. Dificultades de los estudiantes al interpretar un cambio de estado (condensación del vapor de agua).

Para finalizar esta parte se preparó un diseño basado en la interpretación de los cambios de estado que consistía en analizar las respuestas que alumnos de 2º de BUP, que recientemente habían finalizado el estudio de la naturaleza corpuscular de la materia y ver las dificultades que tenían para interpretar lo que sucede a las partículas cuando un gas se licua. La muestra empleada fue la misma que en la cuestión anterior es decir 103 estudiantes procedentes de tres grupos diferentes.

El cuadro siguiente muestra la categorización de las respuestas obtenidas. El número de alumnos encuestados son 103 de 2º de BUP.

Tabla 4.10. Porcentaje de las respuestas emitidas a la cuestión relativa a la interpretación del cambio de vapor en líquido (N = 103).

<u>Categorías de las respuestas</u>	<u>Porcentaje</u>
A. Las partículas en el gas están más separadas y en el líquido se juntan. No especifican si éstas se encuentran quietas o en movimiento	72
B. Dibujan partículas que llenan todo el gas y todo el líquido por lo que colocan más partículas en este estado	40
C. Respuestas correctas: “Las partículas en el líquido quedan más juntas y su movimiento es más lento”	3

Los resultados de esta cuestión ponen de manifiesto el carácter estático que los alumnos tienen sobre el estado líquido. Sólo un porcentaje muy pequeño 3% se refieren al movimiento de las partículas en el líquido.

Por tanto, los resultados de los diferentes diseños analizados en este apartado han dejado claramente contrastado las dificultades que los estudiantes tienen para adquirir un conocimiento comprensivo de la naturaleza corpuscular de la materia, particularmente de los gases, dificultades que tienen diversos orígenes pero que ponen de manifiesto una ineficacia de la enseñanza utilizada, al no haber logrado ésta que un porcentaje significativo de los estudiantes superen esas dificultades a pesar de que, en algunos casos, se ha estudiado el mismo concepto en varias ocasiones.

dificultades a pesar de que, en algunos casos, se ha estudiado el mismo concepto en varias ocasiones.

4.1.6. Dificultades de los estudiantes al tener que resolver ejercicios en los que deben combinar relaciones macroscópicas con microscópicas.

Otra de las consecuencias de la ineficacia del proceso de enseñanza-aprendizaje reside en las dificultades que los estudiantes tienen para resolver cuestiones en los que debe utilizarse conceptos macroscópicos para obtener resultados microscópicos. Recordemos que para comprobarlo se propuso la realización de un ejercicio-problema en el que se daba unos datos cuantitativos - volumen de gases de los reaccionantes- y se les solicitaba que averiguasen la fórmula del compuesto formado. Es decir, se propone un ejercicio en el que para resolverlo han de utilizar correctamente las hipótesis de Avogadro o, lo que es lo mismo, aplicar el modelo cinético a través del cual se relaciona directamente el volumen con el número de partículas.

Recordemos que el ejercicio propuesto (documento-10) fue el siguiente:

100 mL del gas fluoruro de hidrógeno (HF) se combinan con 50 mL de difluoruro de dinitrógeno (N_2F_2), también gaseoso y se forman 100 mL de un gas único. ¿Cuál es la fórmula de la molécula del gas obtenido

La muestra incluye profesores en formación (CAP) y los resultados obtenidos se presentan en la tabla-4.8.

Tabla 4.11. Porcentaje de respuestas al ejercicio del documento

Tipo de respuesta	2 °BUP (N= 36)	3°BUP (N = 19)	COU (N = 129)	CAP (N = 76)
1.Sol. correcta	11	5	32	49
2.Sol. incorrec	39	47	39	28
3.No contestan	50	47	29	22

Los resultados muestran las dificultades procedimentales encontradas en la resolución del ejercicio. Analizando los resultados encontramos:

1°. La columna de los resultados del CAP es claramente indicativa, no sólo de la dificultad del ejercicio, sino, sobre todo del fracaso en la adquisición de estrategias que es capaz de transmitir el modelo de transmisión verbal, ya que sólo la mitad de los 76 estudiantes encuestados fueron capaces de responder correctamente a una cuestión en la que se supone que los conceptos que deben dominarse para resolverla correctamente son dominados perfectamente por los encuestados; pues, no olvidemos que éstos son profesores y profesoras de Física y Química en formación, la mayoría de ellos licenciados en Química o en Física.

2°. En las respuestas de los estudiantes de BUP, sólo alrededor de un 10% resuelve correctamente el ejercicio y prácticamente la mitad de los encuestados dejan la respuesta en blanco. Es, pues, evidente, las insuficiencias de la metodología transmisiva ya que a pesar de la dificultad manifiesta del ejercicio, los conceptos que deben aplicarse para resolver la cuestión han debido ser suficientemente enseñados conocimientos estratégicos de estas dos muestras de alumnos.

3°. Por último, el aumento de las respuestas correctas de los estudiantes de COU respecto a los de BUP puede considerarse muy pobre, ya que sólo el 32% de este nivel son capaces de resolverlo correctamente a pesar de que por tercer año consecutivo, se había impartido la teoría sobre la naturaleza corpuscular de la materia incluyendo específicamente las hipótesis de Avogadro.

Por tanto, estos resultados ponen de manifiesto la poca efectividad de la enseñanza convencional habitualmente utilizada, puesto que a pesar de haber utilizado muestras con alumnos que durante varios años han estudiado los gases y la hipótesis de Avogadro, los porcentajes de aciertos es, en todos los casos, muy bajos sin alcanzar, en ningún nivel, el 50% a pesar de haber extendido la muestra a profesores en formación.

4.2. ANÁLISIS DE LAS INSUFICIENCIAS EN LA ENSEÑANZA CONVENCIONAL DE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

Nuestra hipótesis parte de la idea de que de todos los factores que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje el profesor, con su forma de actuar en clase es, tal vez, el que más influye. En consecuencia si, a través de los diseños anteriores se ha constatado la falta de un aprendizaje significativo, al comprobar como las concepciones alternativas suelen mantenerse a pesar de la enseñanza recibida, ahora deberemos mostrar que ello es debido fundamentalmente a las estrategias de enseñanza usualmente utilizadas. Por tanto, tendremos ahora que contrastar que el profesorado, de forma general, no tiene en cuenta los resultados de las aportaciones que desde la investigación de las Ciencias se están resaltando en la bibliografía. Para ello y como ya se ha indicado anteriormente se han planteado dos diseños para contrastar la afirmación vertida.

En el primero de ellos se verá en qué medida el profesorado que imparte estas enseñanzas tienen en cuenta las dificultades con que se van a encontrar los estudiantes y, el segundo, va directo a analizar si se presenta en los libros de texto de manera explícita algunas de las principales dificultades diagnosticada en el apartado anterior 4.1.

4.2.1. El profesorado no tiene en cuenta las aportaciones de la investigación didáctica al enseñar el tema de la naturaleza corpuscular de la materia.

Para mostrar la posible veracidad de esta hipótesis se aplicó el documento-11 (pág. 120).

Recordemos que este protocolo se pasó a dos grupos de profesores y profesoras en ejercicio que participaban en sendos cursos de formación dirigido a conocer el currículum de Física y Química de la ESO. El porcentaje de respuestas en las categorías previamente establecidas se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Opiniones del profesorado respecto a las dificultades de aprendizaje en la naturaleza corpuscular de la materia.

Categoría de las respuestas	EGB (N = 20)	BUP (N = 30)
a) Indican que no hay, en general, dificultades de aprendizaje al estudiar el tema.	0	23
b) Se hacen comentarios sobre las dificultades que tienen los estudiantes respecto a la materialidad de los gases	0	0
c) Se mencionan algún ejemplo de dificultad específico del modelo corpuscular:	50	40
c.1. La discontinuidad de la materia.	20	13
c.2. La aceptación del movimiento de las partículas como natural.	10	7
c.3. La aceptación del vacío en el modelo.	20	20
d) Se citan ejemplos de dificultad que no corresponden propiamente a la naturaleza corpuscular de la materia.	50	36
d.1. La no diferenciación entre elemento y compuesto	25	6
d.2. La estructura interna del átomo.	25	30

El análisis de estas respuestas denota un desconocimiento del profesorado respecto a las dificultades de aprendizaje que la investigación didáctica ha puesto de manifiesto en lo que se refiere a la naturaleza corpuscular de la materia. Así, la totalidad de los 20 profesores de EGB indican alguna dificultad de aprendizaje sobre los contenidos del tema; pero, la mitad de ellos mencionan dificultades que

no corresponden propiamente a este tema y la otra mitad citan una sola pero ninguna de las respuestas cita la materialidad de los gases.

En cuanto a los de EEMM encontramos que un **23%** indican expresamente que no hay dificultades de aprendizaje, mientras un **36%** cita dificultades que no son propiamente de este tema, destacando aquellos que mencionan la estructura del átomo (**30%**). Y, lo mismo que los profesores de EGB, ninguno de ellos cita la materialidad de los gases.

Coherente con las respuestas dadas por el profesorado a la última cuestión del documento nº 11 (pág. 120), relativa a la prueba de evaluación del tema, nos confirma la poca atención prestada a las dificultades de aprendizaje ya que sólo **2** de los profesores de EGB (**10%**) y otros **2** de EEMM (**6,6%**) citan actividades referidas a la problemática tratada. En concreto las dos actividades de profesores de EGB fueron:

“Dibuja cómo te imaginas el gas dentro de este recipiente.”

“Aplica el modelo de gas para explicar las propiedades de éstos. ”

Y las dos cuestiones propuestas por el profesorado de EEMM fueron.

“¿Hay algo en un matraz vacío?”

“Dibuja cómo te imaginas el gas contenido en un matraz antes y después de extraer parte de él.”

En consecuencia resulta evidente que si el profesorado no es consciente de la existencia de esta problemática no pondrá los medios necesarios para que los estudiantes puedan superar las dificultades observadas.

Por tanto queda contrastado que la mayor parte del profesorado ignora cualquiera de las numerosas dificultades de aprendizaje (como se ha visto en el apartado anterior) que tienen los estudiantes en esta temática.

4.2.2. Análisis de los resultados obtenidos en el análisis de textos.

El análisis de textos supone una información convergente con la extraída al profesorado; pues, estos materiales de aula reflejan, de forma aproximada, las intenciones educativas del profesorado. Como se recordará se prepararon dos cuestionarios (documento-12 pág 123) dirigidos a conocer cuál es el tratamiento que estos libros dan al tema de la naturaleza corpuscular de la materia.

El primero de los cuestionarios se centró en el tratamiento que hacen los textos sobre las dificultades de aprendizaje y cuyos resultados se muestran en la tabla -4.13.

Tabla 4.13 : Número y porcentaje de libros que muestran las dificultades de aprendizaje (N = 71).

Objetivo analizado	Libros de EGB, BU ESO y COU. %
1. Se propone alguna actividad a los alumnos que pongan en duda que los gases tienen masa o peso	6
2. Se expresa de forma explícita por el autor que los gases poseen masa o peso al igual que los sólidos líquidos.	13
3. Se introduce en el texto algún comentario o referencia histórica donde se planteen dificultades acerca de materialidad de los gases	7
4. Se proponen actividades que ponen en cuestión la ley de la conservación de la masa.	20
5. Se expone literalmente la ley de la conservación de masa	85

A continuación se representan gráficamente estos datos:

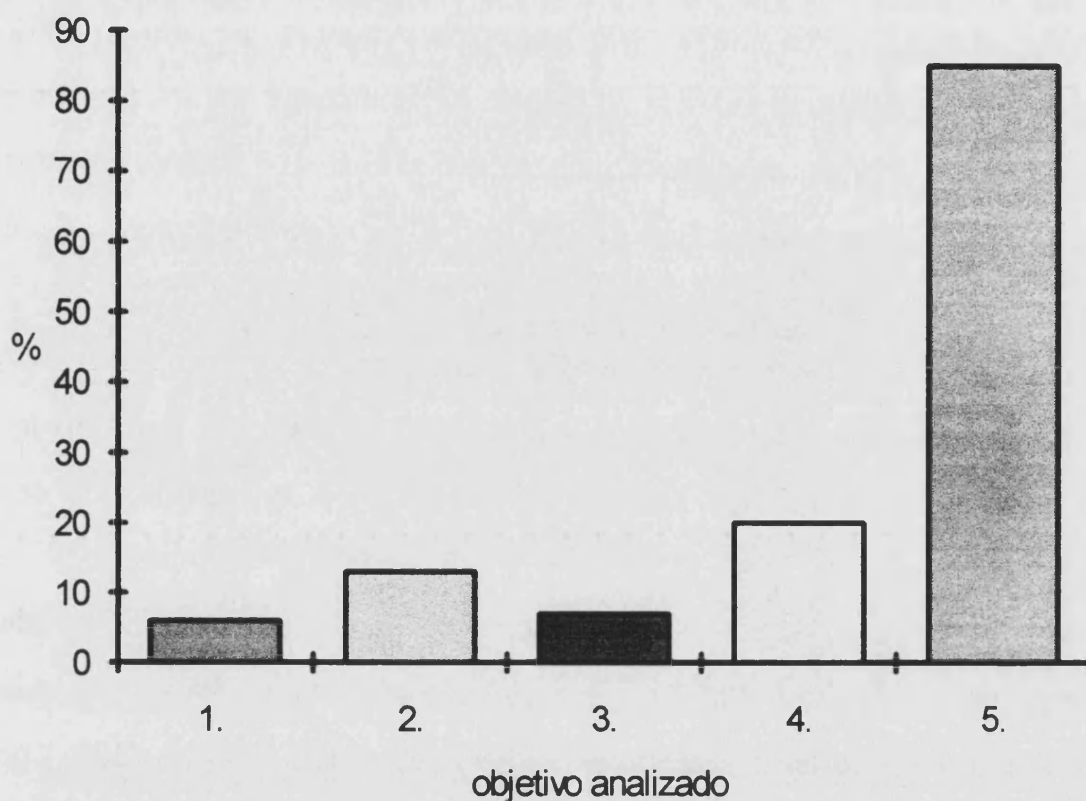


Figura 11. Mención a las dificultades en los libros de texto.

Los resultados de la tabla confirman los obtenidos en el cuestionario dirigido al profesorado al comprobar como, de forma muy mayoritaria, los autores de los libros de texto no son conscientes de las dificultades que la materialidad de los gases tiene para el alumnado en estas edades.

Un resultado importante es contrastar la diferencia existente entre el porcentaje de libros que mencionan explícitamente la ley de la conservación de la masa en procesos químicos (85%) con los que proponen actividades o, al menos, comentan las dificultades que presenta admitir esta ley cuando se producen gases (20%). Estos resultados confirman la poca preocupación por los resultados de la investigación didáctica y, en particular, la poca atención a las concepciones preliminares de los aprendices, concepciones que van a hegemonizar la entrada de nueva información. Así, a pesar de la extensa bibliografía sobre esta cuestión,

a la que ya nos hemos referido en diversas ocasiones, en particular, a las relacionadas con la materialidad de los gases encontramos que sólo un **12%** de los textos consultados son capaces, al menos, de mencionar que los gases tienen masa o peso y ello a pesar de haber incorporado al análisis 13 libros editados en los últimos años por pertenecer a la ESO, nivel en cuyo currículum oficial se menciona esta situación.

Por otra parte, la ausencia de referencias sobre la historia (**7%**) es otro síntoma que pone en evidencia el desconocimiento, por parte del profesorado, de estas dificultades epistemológicas que se presentan en la construcción de los conocimientos químicos.

Por último, la diferencia entre los textos que mencionan la ley de la conservación de la masa (**85%**) y los que plantean alguna cita reflejando la dificultad de asumirlo en los procesos en los que participan gases (**20%**) pone, nuevamente de manifiesto, el desconocimiento de las dificultades de aprendizaje.

El segundo de los cuestionarios estaba destinado a analizar cómo se presenta la primera hipótesis de Avogadro en los libros de texto. Según nuestra hipótesis, éstos no tendrán en cuenta el contexto histórico en el que aparece, como explicación hipotética de las relaciones volumétricas entre gases encontradas por Gay-Lussac, ni tampoco la relacionarán con el modelo cinético de los gases. En efecto, aceptar la misma estructura interna para cualquier gas donde las partículas son insignificantes frente a los grandes vacíos existentes y donde la energía cinética media del conjunto de partículas depende sólo de la temperatura y es independiente del tipo de partícula, supone aceptar que la cantidad de partículas es directamente proporcional al volumen si mantenemos constantes P y T . Tengamos presente que la solución hipotética aportada por Avogadro (1813), para explicar el problema de la combinación de gases, no fue aceptada por la comunidad científica hasta 1860 debido a la fuerte oposición de

Dalton que no creía en un modelo de gas con grandes huecos (Holton y Roller 1963).

Por tanto, si se cumple la hipótesis, es de esperar que los textos introduzcan cuando se estudia la teoría atómico-molecular de la materia (más allá de la naturaleza corpuscular de la materia) la 1ª hipótesis de Avogadro sin tener en cuenta que es una implicación lógica del modelo cinético y, por tanto, sin ninguna fundamentación teórica que facilite la comprensión lectora del aprendizaje .

A continuación la tabla-4.14 indica el porcentaje de textos que responden al protocolo preparado para comprobar la forma cómo los libros de texto presentan la primera hipótesis de Avogadro. En el análisis sólo se han considerado los textos que la mencionan (N= 46)

Tabla 4.14: Resultados, expresados en porcentaje, de la forma cómo los textos introducen la primera hipótesis de Avogadro.

Forma de presentarla	Porcentaje de textos (N=46)
1. Se introduce sin ninguna fundamentación	75
2. Indicando al menos el problema que se pretende resolver	20
3. Relacionándola con el modelo cinético de gases	6

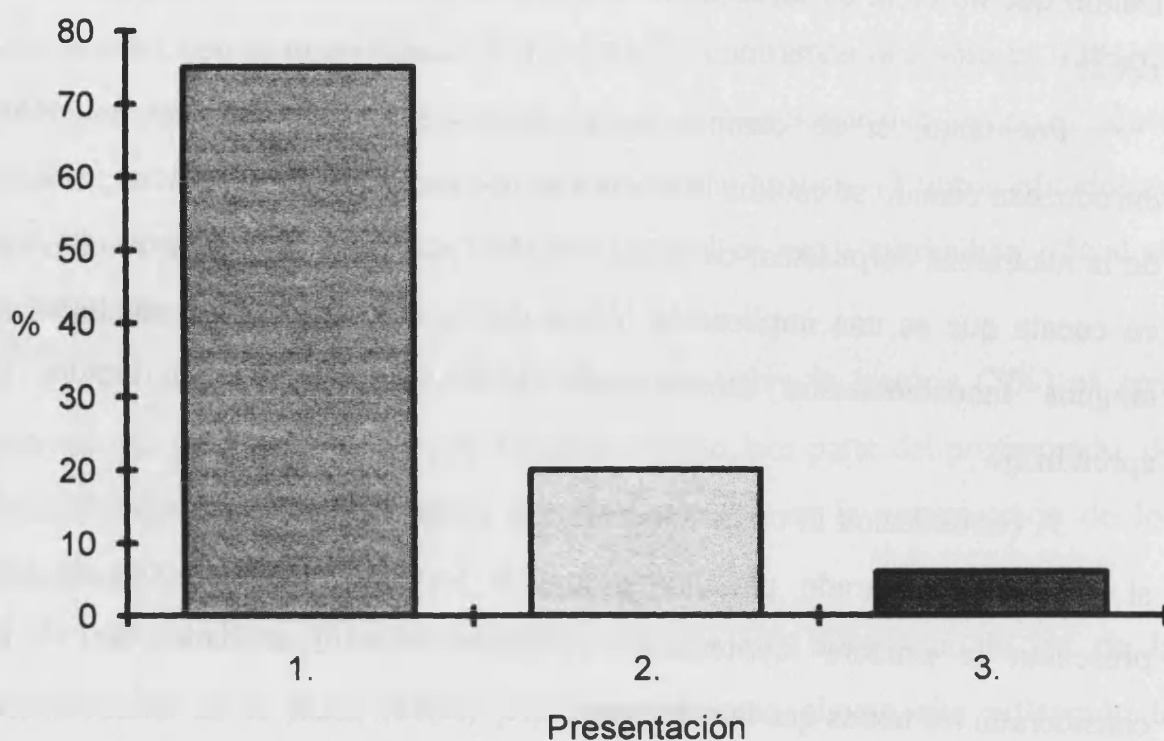


Figura 12. Tratamiento de la hipótesis de Avogadro en libros de texto

Nuevamente los resultados, representados gráficamente en la figura 12, vuelven a ser suficientemente concluyentes ya que de todos los textos analizados el 75% introducen la primera hipótesis de forma dogmática sin relacionarla ni con el modelo cinético de gases ni tan siquiera se presenta como solución a un problema experimental planteado. Es decir, una vez más se vuelve a ocultar todo el proceso de construcción de los principios, leyes, etc. científicos, lo que supone desaprovechar ocasiones para que los alumnos y las alumnas se familiaricen con las características de la metodología científica y ayudarles a que comprendan la forma cómo evolucionan estas ideas.

Los resultados de estos dos últimos diseños muestran coherentemente que las concepciones que de forma mayoritaria manifiesta el profesorado y las que aparecen en los libros de texto de los mismos niveles se caracterizan, de forma general, por no considerar las aportaciones de las investigaciones didácticas en el

sentido de tener presentes las ideas previas del alumnado así como la necesidad de considerar la historia para, entre otras cosas, conocer las dificultades de aprendizaje y poder organizar y secuenciar mejor los contenidos del currículum de acuerdo con ellas.

3ª Parte

**LA ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN
MEJORA EL APRENDIZAJE DE LA
NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA
MATERIA**

CAPÍTULO V

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS PRINCIPAL

Las investigaciones didácticas realizadas en los últimos veinte años sobre las concepciones alternativas en Ciencias de los estudiantes, algunas de los cuales ya han sido comentados, han mostrado de forma irrefutable que el modelo de enseñanza tradicionalmente empleado y conocido como de transmisión recepción no es útil para lograr aprendizajes significativos lo que ha contribuido a la búsqueda de otros modelos. La primera de las hipótesis de este trabajo estaba relacionado con esa falta de aprendizaje aplicado al tema concreto del estudio de la naturaleza corpuscular de la materia. La segunda de las hipótesis hace relación a la mejora que deberá producirse al sustituir el modelo tradicional por otro que incorpore las aportaciones que desde los campos de la psicología del aprendizaje, de la epistemología y de la didáctica de las Ciencias se han venido desarrollando últimamente.

En concreto, el modelo de enseñanza adoptado en este trabajo se puede considerar inserto en el nuevo marco de orientación constructivista del aprendizaje de las Ciencias y las Matemáticas (Resnick 1983, Novak 1988, Wheatley 1991, Gil 1993). Este nuevo marco, donde el estudiante para aprender debe construir "ex novo" los conocimientos científicos, ha originado diversos modelos de intervención didáctica que tienen como denominador común el uso de estrategias basadas en el cambio conceptual (Posner et al 1982). Pero, los resultados que se están encontrando al experimentar estas estrategias dirigidas explícitamente al cambio conceptual -no tan positivos como se esperaban- junto a

la necesidad de dar solución a viejos problemas didácticos como el de la resolución de problemas y a otros más nuevos como el de las actitudes negativas de los alumnos y alumnas hacia la Ciencia y su aprendizaje (Schibeci 1984; Welch 1985, Solbes y Vilches 1996), requieren ampliar su fundamentación teórica con nuevas componentes epistemológicas, metodológicas y axiológicas relativas a aquello que se enseña.

Estas nuevas propuestas constructivistas deben reformular, a nuestro entender, aquel viejo propósito educativo de los movimientos de innovación curricular de los años 60 que pretendía convertir al estudiante en un "investigador autónomo" a través de su familiarización con los procesos de la Ciencia. Pero, con una visión de la naturaleza de la Ciencia y de la actividad científica más acorde con las contribuciones actuales de la Historia y Filosofía de la Ciencia. Así pues, trataremos de mostrar que estableciendo esta relación entre las nuevas aportaciones de la Historia y Epistemología de la Ciencia y la enseñanza, es posible dar un salto cualitativo que ayude a la consolidación del nuevo paradigma constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias. En este sentido están apareciendo en la literatura, cada vez más, trabajos que llaman la atención sobre la necesidad de tener presente el cambio epistemológico y axiológico (Duschl y Gitomer 1991) o el cambio metodológico (Gil et al 1991) en el aprendizaje, si se quiere lograr el cambio conceptual.

La estrecha relación entre la naturaleza del aprendizaje y la de la actividad científica, aún no considerada en los modelos de cambio conceptual, están proporcionado nuevas estrategias didácticas integradoras que permitirán conseguir el cambio conceptual y actitudinal deseado en los estudiantes de Ciencias. Este nuevo modelo que hemos venido en llamar enseñanza-aprendizaje por investigación (Gil et al 1991; Gil 1993; Furió 1994) pretende que los alumnos construyan (aprendan) los conocimientos científicos mediante estrategias

didácticas próximas a las empleadas por la Ciencia para resolver problemas científicos. Por ello nosotros hemos considerado que la utilización de este modelo en la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia mejorará el rendimiento escolar de los alumnos al conseguir aprendizajes más significativos para lo cual se han establecido diversos diseños experimentales que todos ellos, de forma conjunta, confluyan y permitan comprobar la hipótesis señalada.

5.1. LA CONCEPCIÓN CONSTRUCTIVISTA DEL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS DE CAMBIO CONCEPTUAL.

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos de los estudiantes, mencionados en el capítulo II, como expresa Gil (1986), no reside en el conocimiento detallado de cuáles son sus concepciones alternativas en cada dominio -aun cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones concretas de aprendizaje- sino en las consecuencias asociadas a la elaboración de una nueva orientación en el aprendizaje de las ciencias, surgida de trabajos y líneas de investigación inicialmente independientes pero convergentes en sus conclusiones.

Este paradigma constructivista concibe el aprendizaje como construcción activa de nuevos conocimientos, por parte del propio aprendiz, a partir de su conocimiento anterior. En efecto, investigaciones tan dispares como aquellas que interpretan el modo en que se comprende un texto literario, las que versan sobre las dificultades de aprendizaje de discapacitados, aquellas otras que analizan cómo se resuelven problemas matemáticos o las que investigan cómo interpretamos el mundo físico (Driver 1986; Osborne y Wittrock, 1985) han llegado a concluir que interpretamos nuevas experiencias generando expectativas

a partir de nuestro conocimiento presente y que de esta manera se somete continuamente a prueba de forma activa.

En este sentido, hay una primera tesis ampliamente asumida en el marco constructivista que se refiere a la imposibilidad de "transvasar" ideas o pensamientos a nuestros alumnos aunque esto nos pese a los profesores. Mas concretamente se cita que: *"El conocimiento no puede ser recibido pasivamente sino que tiene que ser construido en forma activa por el sujeto cognitivo"*. En realidad, cualquier intento de comunicación, a modo de estímulo externo, trata de evocar significado en los oyentes, pero cada persona percibe el mensaje con sus concepciones "viejas", lo analiza en la nueva situación y, finalmente, construye su propio significado. Esta interpretación de lo "nuevo" en términos de lo "antiguo" refleja una concepción del conocimiento no como "paquete de significados" a "desembalar" por el sujeto cognitivo, sino como desestructuración y estructuración de sus esquemas de acción y operación altamente organizados e interrelacionados de múltiples maneras. Es decir, lo que vemos y oímos está modulado por las expectativas, concepciones, creencias, intenciones, etc. que ya tenemos.

Estas concepciones del aprendizaje han conducido al diseño de diversos modelos de instrucción que son convergentes, ya que tienen como común denominador, según señala Pozo (1989), el promover el cambio conceptual de los estudiantes. En efecto, fácilmente pueden establecerse semejanzas notables entre el aprendizaje como cambio conceptual de Posner et al (1982), la visión constructivista del aprendizaje de Driver (1983 y 1986), el modelo de aprendizaje generativo de Osborne y Wittrock (1985) o el aprendizaje alostérico de Giordan (1989). En particular cabe resaltar el modelo de cambio conceptual de Posner y otros (1982), fundamentado en el paralelismo que se produce entre el desarrollo de algunos conceptos del sujeto cognitivo y la evolución histórica de la Ciencia.

Siguiendo las ideas de Toulmin (1977), aquellos autores indican que el aprendizaje significativo de las Ciencias puede ser considerado como una actividad racional similar a cómo cambian los sistemas conceptuales (teorías) en la Ciencia. Estos cambios se llevan a cabo mediante actos racionales -no necesariamente lógicos- semejantes a "cambios ecológicos" en las poblaciones de conceptos inicialmente aceptados por los científicos. Cambios que tienen lugar en contextos y procesos socio-históricos (Nussbaum, 1989).

Basándose en esta hipótesis de aprendizaje como cambio conceptual se han desarrollado estrategias didácticas que se pueden concretar en un proceso complejo que tiene las siguientes etapas:

1) Fase de elicitación de las concepciones de los alumnos que tiene como misión principal identificar y clarificar las ideas que ya tienen los alumnos.

2) Etapa de restructuración de estas ideas con la creación de conflictos cognitivos mediante la propuesta de actividades que pongan en cuestión estas ideas y preparen el anclaje de las nuevas.

3) Fase de invención o introducción de los nuevos conceptos mediante diversas estrategias como torbellinos de ideas, la presentación explícita hecha por el profesor, la lectura de libros de texto, etc.

4) Etapa de aplicación donde se proporcionan oportunidades a los estudiantes para que usen las nuevas ideas en diferentes situaciones y así comprueben su utilidad.

Han habido resultados experimentales al poner en práctica estas estrategias con la finalidad explícita de provocar cambios conceptuales y, si bien esta orientación de las enseñanzas ha sido mucho más eficaz que la enseñanza habitual, se ha comprobado que ciertas concepciones alternativas fuertemente resistentes a la instrucción vuelven a reaparecer al poco tiempo cuando ya se suponían superadas (Engel y Driver 1986, Hewson y Torley 1989, White y Gunstone 1989, Duschl y Gitomer 1991). Al propio tiempo, conviene hacer notar que estas estrategias están sesgadas hacia la construcción individual de los conceptos científicos sin tener en cuenta el carácter social y las formas de razonamiento específicas que se utilizan en la solución de los problemas de la Ciencia que se quiere construir. Habrá, pues, que profundizar en el modelo de aprendizaje de las ciencias teniendo en cuenta nuevas consideraciones además de la existencia de las preconcepciones y del cambio conceptual.

5.2. CONTRIBUCIÓN DE LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA A UNA ORIENTACIÓN RADICALMENTE CONSTRUCTIVISTA DEL APRENDIZAJE.

La existencia de problemas didácticos en la transformación de los esquemas conceptuales espontáneos, incluso cuando se han intentado modificar a propósito mediante estrategias de cambio conceptual, nos hacen ver la necesidad de revisar su fundamentación teórica a fin de señalar cuáles son sus fallos o de integrar nuevos aspectos no contemplados en el cuerpo teórico de la didáctica de las Ciencias.

Veamos, de nuevo, si estas tesis constructivistas dentro de su ambigüedad no calculada, que ha permitido integraciones muy diversas, son compatibles con las nuevas aportaciones de la Historia y Filosofía de la Ciencia. En particular, se trataría de extrapolar al terreno del aprendizaje de las Ciencias, si fueran viables, las condiciones que, según la Epistemología, se han debido dar para que sucedan

los cambios en las teorías científicas. En este sentido, los filósofos clasifican los cambios en "duros" y "blandos". Como prototipos de la primera clase tenemos los cambios paradigmáticos o revoluciones científicas (Kuhn 1971) que supusieron, p.e., el tránsito de la Física pregalileana a la Física clásica o el de esta última a la Física cuántica. Mientras los cambios blandos corresponden a evoluciones graduales en lo que se ha denominado por Toulmin (1972) como "ecología conceptual" más propias de progresos en épocas de ciencia normal. Muy posiblemente los cambios que se producen en una teoría "aceptada" son graduales debido a que tiene en su haber muchos éxitos (ha resuelto ya problemas antiguos) y existen etapas de modificaciones parciales donde se "explora" una nueva teoría que promete buenos resultados (Laudan 1984). Solamente después de resolver bastantes "nuevos" problemas esta exploración puede conducir a su aceptación real. Mientras tanto, se van incorporando nuevos elementos a la teoría vieja sin que se abandone. Por otra parte, el abandono de la vieja teoría por la nueva es un proceso colectivo influenciado no sólo por criterios de validez interna al propio cuerpo teórico basados en una lógica deductiva (como p.e. la contrastación hipótesis-experimentación, la coherencia teórica, la competencia en la predicción y utilidad de teorías rivales, etc.) sino también por criterios de validez externa como valores personales, contexto sociológico de la comunidad científica, presiones políticas, etc. (Nussbaum 1989).

No obstante, cuando se produce uno de estos cambios o revoluciones científicas no sólo hay una transformación de los conceptos de la teoría vieja sino que también se producen cambios en las formas de ver el mundo (componente ontológica), en las formas de razonar (epistemológica), en los métodos (metodológica) y en los propios valores y propósitos de la nueva teoría (axiológica) (Duschl y Gitomer 1991).

Si se acepta que el aprendizaje de las Ciencias implica ayudar a pasar a los estudiantes de su cultura cotidiana a otra diferente mas rigurosa como la cultura científica, con todo lo que ello significa no sólo de cambio conceptual sino, además, de cambio en todas aquellas componentes axiológica, metodológica, epistemológica y ontológica interdependientes, se comprenderá fácilmente porqué fracasan aquellas estrategias de enseñanza que reducen los objetivos de aprendizaje solamente a lograr el cambio conceptual sin tener en cuenta, por ejemplo, los aspectos metodológicos y epistemológicos.

Así pues, la transferencia de estas aportaciones de la Historia y Filosofía de la Ciencia a la enseñanza van a suponer, a nuestro entender, un salto cualitativo importante y similar al que supuso hace una década las aportaciones de la psicología cognitiva al constructivismo en didáctica de las Ciencias (Gil 1994).

En primer lugar, la extrapolación de las componentes metodológica y epistemológica de las construcciones científicas al aprendizaje nos sugiere que el cambio conceptual no puede producirse tomando sólo en consideración las concepciones alternativas sino que también deberá ir acompañado de un profundo cambio metodológico y epistemológico donde se pongan en cuestión las formas de razonamiento asociadas a la cultura cotidiana (Carrascosa y Gil 1985; Hashweh 1986). Precisamente los "savoir faire" ligados a la "metodología y epistemología de sentido común serían una de las principales causas de las dificultades del cambio conceptual y pueden reconocerse a través de rasgos como p.e. la asunción acrítica de "verdades" aceptadas por todos como "evidencias naturales", la certeza en sus conclusiones basadas en observaciones cualitativas o el tratamiento puntual de las cuestiones sin buscar la coherencia global al analizar diferentes situaciones.

Esta nueva hipótesis supone aceptar que el cambio conceptual será difícil sin el cambio metodológico. Es decir, sólo haciendo que los alumnos practiquen, ayudados por el profesor, aspectos esenciales de la metodología científica como p.e. plantearse y precisar problemas, imaginar soluciones a los mismos en forma de hipótesis, diseñar experimentos de contrastación de las hipótesis, etc., podrán superar la metodología del sentido común y, consecuentemente, construir conocimientos científicos.

Estas consideraciones, en opinión de Gil et al (1991), han conducido a una profundización de las estrategias didácticas de cambio conceptual con el fin de incorporar de forma no autónoma a aquel gran objetivo, el mencionado cambio metodológico no sólo en la introducción de conceptos, sino también en todas las demás actividades propias de la enseñanza de las Ciencias, como la resolución de problemas de lápiz y papel, la realización de trabajos prácticos y, además, puede resolver el problema de la mejora de actitudes de los estudiantes de secundaria hacia la Ciencia y su aprendizaje. Una primera crítica a estas estrategias de cambio conceptual que surge es el olvido, ya denunciado por la investigación, de que el objeto de construcción de los conocimientos científicos no es cuestionar las ideas del sujeto que quiere abordar la solución de un problema. Más bien, al contrario, hay una valoración positiva de las ideas del cuerpo teórico de partida con las que, precisamente, iniciara dicha construcción. Como indican los epistemólogos la finalidad de la empresa científica no es poner en cuestión las ideas de la teoría aceptada sino resolver problemas dentro de dicho marco que puede ser reformulado en muy pocos casos (Laudan 1984). Las soluciones, consideradas siempre como hipotéticas, se incorporan a las teorías como construcciones especulativas que servirán para explicar (comprender) mejor el mundo experiencial en el que nos movemos.

Es obvio que, como consecuencia de haber logrado esa profundización en el conocimiento, habrán cambiado gradualmente sus ideas anteriores. Por tanto, se concluye que una estrategia de enseñanza que pretenda ser coherente con el constructivismo exige que el aprendizaje se centre menos en el cambio de las ideas de los alumnos y enfatice más el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que sean interesantes. Al mismo tiempo, estas estrategias de cambio conceptual no deben estar excesivamente sesgadas hacia los contenidos conceptuales y deben incorporar contenidos procedimentales coherentes con la naturaleza de la Ciencia y del trabajo científico con los que se quiere familiarizar a los estudiantes para que puedan efectuar el salto de su cultura cotidiana a la científica. Esta crítica al reduccionismo conceptual con que se concibe el aprendizaje en el cambio conceptual también es asumida convergentemente por las distintas posiciones teóricas que existen en la investigación psicológica recientes a la hora de explicar estos procesos de cambio. Así, autores como Vosniadu (1994) postula que lo que cambia son los modelos mentales construidos por el estudiante a través de la experiencia. Disessa (1993) presupone que cambian ideas ligadas y basadas en la instrucción. En cambio, Chi et al (1994) consideran que el cambio conceptual consiste en la creación de nuevas categorías ontológicas. A pesar de estas concepciones diferentes entre el cambio conceptual, todos ellos presuponen que no es suficiente la presentación de un conflicto cognitivo por parte del profesor para predecir el cambio conceptual.

Por otra parte, la extrapolación de un cierto isomorfismo entre la naturaleza del aprendizaje y la de la investigación, mencionada anteriormente, debe extenderse no sólo a las formas de razonamiento científicas (componente metodológica y epistemológica del cambio), sino también a aquellas condiciones contextuales (históricas y sociológicas) que han facilitado estas construcciones científicas. Conviene recordar que los saberes científicos son construcciones

intelectuales en un contexto socio-histórico-político (Guilbert y Meloche 1993). Los cambios que generalmente se producen en las teorías aceptadas son graduales y su abandono por nuevas teorías que se están explorando es un proceso colectivo influenciado no solo por sus valores predictivo y utilitario sino también por el propio contexto socio-histórico y por otros valores psicológicos, profesionales, institucionales, etc. En este contexto socio-histórico destaca la existencia de equipos de investigadores (Kuhn 1971) y la necesidad de interacción (comunicación) entre ellos con objeto de intercambiar los resultados obtenidos en sus construcciones. Así pues, la falsación de una teoría no obedece exclusivamente a la lógica deductiva interna en la que se confronta la experimentación a la teoría (recordemos que en la Ciencia no hay experimentos cruciales en términos popperianos). La veracidad del saber no solamente debe ser probada o confirmada por observaciones experimentales, sino además debe ser objetivada desde la subjetividad colectiva de la comunidad científica. Es decir, el progreso hacia el saber no es una progresión continua hacia una verdad absoluta, sino una noción temporal relativa juzgada según el contexto socio-histórico (Nussbaum 1992).

Desde una óptica constructivista, en didáctica de las Ciencias, que quiera ser coherente con la naturaleza de la Ciencia y del trabajo científico, se debe asumir que los conocimientos se construyen de forma cooperativa (Wheatley 1991). No sólo se aprende cuando se construye individualmente el conocimiento sino, también, es necesario negociar los significados mediante la interacción social con aquellos que desean comunicarse de manera significativa, compartir dichos significados e integrarse en la misma cultura científica. Este planteamiento constructivista del aprendizaje de las Ciencias ha de responder a las características de una investigación dirigida: un trabajo de investigación en el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos grupos y se cuenta con

la inestable ayuda de un experto. No vemos necesario insistir aquí en los bien conocidos y documentados argumentos en favor del trabajo en pequeños grupos como forma de incrementar el nivel de participación y creatividad necesaria para abordar situaciones no familiares y abiertas (Ausubel 1978, Solomon 1987, Linn 1987, Burbules y Linn 1991). Por otra parte, cabe destacar en este planteamiento no sólo la importancia de los intercambios inter-grupos sino también la participación del profesor como “portavoz” de lo que la comunidad científica ha ido construyendo a través de un proceso histórico largo y difícil.

En resumen, las contribuciones de la Historia y Epistemología de las Ciencias a la Enseñanza nos van a permitir superar el reduccionismo de los modelos de cambio conceptual centrados exclusivamente en los contenidos conceptuales y recuperar como objetivo la familiarización de los alumnos y alumnas con las formas de razonamiento científico. Este cambio, a la vez, conceptual y metodológico primará estrategias centradas en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas de interés que responden a un modelo constructivista de aprendizaje como actividad de investigación, como veremos a continuación.

5.3. EL MODELO DE APRENDIZAJE COMO INVESTIGACIÓN.

La extrapolación del cierto paralelismo existente entre el modo de producción de algunos conocimientos en la Ciencia y la forma de construirlos en el aprendizaje, ha conducido a una propuesta que supondría organizar esta construcción de acuerdo con la metáfora de "investigadores noveles". En este tipo de aprendizaje el trabajo de estos investigadores principiantes consistiría en replicar investigaciones ya conocidas por el "director de estas investigaciones" (el profesor). Así pues, la estructura de la clase se dividiría en pequeños grupos de

trabajo en cuyo desarrollo se obtienen unos primeros resultados mediante el esfuerzo cooperativo de aquellos y que como tales equipos de investigación interaccionan entre ellos y con la comunidad científica representada por el profesor (y por los libros de texto) con lo que se matizarán, cuestionarán, reformularán y enriquecerán los resultados parciales obtenidos por los propios equipos.

Pasemos a describir algunos pormenores de la hipótesis que supondrá clarificar qué estrategias didácticas se priorizarán, cómo se puede organizar el trabajo de los alumnos según este modelo, qué materiales se usarán, cuáles serán los principales roles del profesor en este nuevo modelo, etc.

5.3.1 Las estrategias didácticas del modelo deben ser congruentes con el objetivo de familiarizar a los estudiantes con el conocimiento procedimental de las Ciencias.

Aunque la filosofía de la Ciencia ha llegado a la conclusión de que no se puede hablar de "un método científico" como conjunto de normas procedimentales a seguir para llegar con éxito a la solución de los problemas científicos, si es posible hacer un análisis, nunca exhaustivo, que permita extraer las características esenciales del trabajo científico y así poder perfilar mejor el objetivo de cambio metodológico perseguido en el aprendizaje de las Ciencias por investigación. A partir de dicho análisis se pueden extraer contenidos procedimentales utilizados por los científicos con el fin de fundamentar teóricamente estrategias didácticas que coadyuven a la construcción de conocimientos. De forma muy resumida, estas estrategias tratarán de familiarizar a los estudiantes con la metodología científica a través de la solución a problemas y se pueden subdividir en varias fases (Gil 1993):

1. Proponer situaciones problemáticas interesantes que faciliten una concepción preliminar de la tarea y que sirvan a la construcción de un cuerpo de conocimientos.

2. Aproximación cualitativa a las situaciones problemáticas para precisarlas y así llegar a definir las como problemas. Fase en la que será necesario que expliciten sus esquemas conceptuales y tomen decisiones como algo consustancial con la tarea.

3. Enfoque científico para abordar la solución del problema ya acotado. Fase compleja que implica la introducción de conceptos, la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias de resolución o de diseños experimentales, la resolución o la realización del plan estratégico, el análisis de los resultados con la posibilidad de conflictos entre concepciones diferentes.

4. Proponer la utilización de los nuevos conocimientos en situaciones diversas y, en particular, dando una importancia especial a las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad y a las propuestas de nuevas cuestiones problemáticas para continuar la construcción de conocimientos a nivel más profundo.

5.3.2 ¿Cómo organizar el trabajo de los alumnos en el aprendizaje por investigación?

Los elementos esenciales de una clase de Ciencias con una orientación constructivista como la indicada anteriormente tratará de priorizar aquellos factores que se ha demostrado que pueda favorecer el aprendizaje.

En primer lugar, el aprendizaje se facilita cuando el aprendiz se enfrenta él mismo a tareas dentro del currículo escolar basadas en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, pertinentes y de interés (Reyes 1991, Furió y Guisasola 1994). Estas tareas pueden prepararse preactivamente (antes de la interacción educativa) por el profesor en forma de programas de investigación dirigida correspondientes al currículo y que más adelante se detallarán (Furió y Gil, 1978; Gil y Mtez-Torregrosa, 1987). Esta nueva visión del currículo más focalizado hacia lo que tiene que hacer el alumno ha recibido un fuerte apoyo desde posiciones constructivistas, pues como indican Driver y Oldham (1986), la concepción de currículo más que prescribir los contenidos y las habilidades que tiene que adquirir el alumno tiene que centrarse más en explicitar el programa de actividades con el que se pueden construir aquellos conocimientos y se puedan adquirir aquellas destrezas.

Por otra parte, la estructura organizativa de la clase debe ser tal que tenga presente el carácter social de la construcción de los conocimientos científicos. Una organización del aula en base a la formación de pequeños grupos de estudiantes como equipos de investigación que trabajan las actividades bajo la dirección del profesor, pueden fomentar la construcción de los conocimientos. En este sentido, la investigación ha mostrado la importancia que tiene en la Ciencia y en un ambiente de clase estas interacciones positivas entre los grupos (Astolfi et al 1985).

Un tercer elemento esencial en este tipo de clases es considerar que el funcionamiento de estos grupos no es autónomo sino que se deben favorecer de manera ordenada y diversa las interacciones de los grupos entre ellos y con la comunidad científica representada por el profesor, los textos, etc. de manera que se puedan retroalimentar, completar, validar, refutar, etc. las soluciones dadas a las situaciones problemáticas planteadas. Estas interacciones inter e intragrupalas al abordar los problemas abiertos irán (re)construyendo la realidad subjetiva del alumno a través de la interacción social.

Veamos, pues, qué consideraciones deberán reunir estos programas de actividades para que constituyan un recurso didáctico primario del profesor como director de investigación según este modelo didáctico.

5.3.3 El programa de actividades como guía de trabajo en el desarrollo curricular del aprendizaje por investigación.

La concepción de programa-guía de actividades ya fue definido hace algunos años por sus autores (Furió y Gil, 1978) como:

"La idea básica es que el desarrollo del tema ha de programarse a base de actividades a realizar por los alumnos, constituyendo lo que podríamos denominar un programa-guía. Con estas actividades se trata, en la medida de lo posible, de colocar a los alumnos en situación de producir conocimientos, de explorar alternativas, superando la mera asimilación de conocimientos ya elaborados".

Así pues, la idea central que preside la elaboración de un programa-guía consiste en que cada unidad temática abordada en forma de situación problemática -donde se integrarán tanto la introducción de conceptos, la discusión sobre las implicaciones sociales de la ciencia como la resolución de problemas abiertos y el trabajo experimental- se traduzca en un conjunto de

actividades, debidamente articuladas, a realizar por los alumnos estructuradas en pequeños grupos de investigación, bajo la dirección del profesor.

Quizás pueda parecer excesivamente dirigista, poco flexible e incompatible con una posición constructivista la presentación del conjunto de actividades previamente programadas por el profesor, pero conviene no olvidar que, como indica Millar (1989), *"el objetivo de la enseñanza de la Ciencia, en este caso, no es que los alumnos construyan sus propias ideas sobre el mundo sino que hagan suyas teorías científicas bien constituidas"*. Y ello puede realizarse a partir de situaciones problemáticas que favorezcan el aprendizaje significativo de las concepciones científicas mediante una construcción de conocimientos fundada en características esenciales de la metodología científica como es p.e., la coherencia conceptual. En consecuencia, la necesidad de elaborar cuerpos de conocimiento con coherencia global exige que el profesor o profesora seleccione un conjunto de actividades con una lógica interna que evite aprendizajes inconexos y estrategias basadas exclusivamente en el ensayo y error típico de las metodologías de sentido común.

En definitiva, este programa estructurado de actividades constituirá un verdadero programa de investigación que puede orientar el trabajo de los estudiantes y que tenga un hilo conductor que dé sentido a lo que hacen. Ello supondrá la selección cuidadosa de estas actividades para poder cubrir el contenido del tema objeto de estudio. Estos programas de investigación dirigida tienen una doble ventaja: por una parte, favorecerán el trabajo colectivo de los alumnos al tiempo que se detectan más fácilmente las posibles dificultades que se les presenta al debatirlas y, por otra, permitirán con facilidad una evaluación del programa de actividades ya que se puede constatar en la acción cuáles de aquellas han dado o no el resultado esperado.

La forma de utilización del programa de actividades, en una clase estructurada en equipos, se realiza de manera que después de discutida una actividad en los pequeños grupos, se produce una puesta en común antes de pasar a la siguiente. Una estructura de este tipo permitirá que el profesor reformule, si fuera necesario, las aportaciones de los grupos, orientando asimismo la introducción de la siguiente actividad. Por supuesto, la puesta en común no debe consumir excesivo tiempo y para ello el profesor debe estar atento al trabajo de los grupos y saber pasar a la discusión general en el momento oportuno sin necesidad de esperar a que acaben todos los grupos ya que se puede provocar una dispersión y aburrimiento por parte de los que terminaron primero (Gil et al 1991).

En relación a la elaboración o diseño de programas de actividades debe concebirse como una tarea típica de investigación-acción aplicada a los materiales didácticos y a los objetivos que se persiguen. Es evidente que la puesta en práctica de un programa de actividades será la prueba de contrastación experimental de una hipótesis de trabajo del profesor según la cual al aplicarlo se favorecerá un aprendizaje significativo de las ciencias y se mejorarán las actitudes hacia ese aprendizaje. Este carácter de investigación que quiere darse a la elaboración de los programas de actividades implica eliminar una presentación rígida del tipo de estrategias didácticas, pero, al mismo tiempo, conviene llamar la atención crítica sobre aquellas otras estrategias basadas también en el tratamiento de situaciones problemáticas pero organizadas a base de actividades inconexas o puntuales. A este respecto ya se han mostrado las insuficiencias de algunos modelos constructivistas (Pozo, 1989) y se han defendido planteamientos más consistentes a base del tratamiento de situaciones problemáticas. De acuerdo con estas nuevas orientaciones conviene destacar algunas consideraciones sobre

estas situaciones problemáticas que deben tenerse en cuenta en el diseño de programas de investigación dirigida:

a) Según Gil et al (1991) la primera cuestión a contemplar en la elaboración de un programa es la necesidad en su presentación de actividades iniciales que proporcionen un interés y una concepción preliminar de la tarea. Ello supone que los alumnos deben participar en el establecimiento de los objetivos generales que se desea estudiar y obliga a que el profesor tenga en cuenta las concepciones alternativas, la visión del mundo, las destrezas, las actitudes, etc. de los estudiantes para conectar con sus intereses, así como los prerrequisitos necesarios de los contenidos para abordar con éxito la investigación, etc. La adquisición de esta concepción inicial de la tarea es fundamental para una orientación o guía de los alumnos durante el trabajo de replicación de la investigación y, al propio tiempo, tiene que servir de enlace con el hilo conductor establecido para el conjunto de la materia dándole sentido y carácter estructurante a la tarea.

b) En cuanto a la presentación de estas situaciones problemáticas de interés deben ser doblemente pertinentes en relación a los objetivos perseguidos y en relación a las capacidades de los alumnos que deben resolverlas. En cuanto a la primera cuestión, que podemos llamar pertinencia lógica, se refiere a que estos problemas deben estar enmarcados en un contexto teórico determinado ya que han de servir para plantearse la (re)construcción de un cuerpo coherente de conocimientos a través de cierta familiarización con los procesos de construcción de la ciencia, pues se trata de repeticiones de investigaciones ya conocidas por el profesor. Por tanto, las actividades iniciales donde se planteen las situaciones problemáticas ni pueden ser tan convergentes como, p.e., aquellas que utilizamos

los profesores como ejercicios de aplicación para consolidar la adquisición de conceptos ni excesivamente generales y abiertas como pueden ser, p.e., cuestiones de opinión de por sí totalmente divergentes y sin posibles criterios de validación. Ello no basta para que en determinados momentos del proceso de construcción de conocimientos sea aconsejable emplear ejercicios de aplicación o plantear problemas de interés general como pueden ser aquellas que son aconsejables plantear en una clase de ciencias y que tienen que ver con las relaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad con el fin de que los estudiantes puedan tomar decisiones ético-políticas para ir formándose como futuros ciudadanos (Aikenhead, 1985; Solbes y Vilches, 1989).

c) Otra consideración que debe tenerse presente a la hora de plantear una situación problemática abierta es el estadio cognitivo, entendido como la necesidad de que la tarea no se halle ni muy por encima ni muy por debajo de las capacidades de los alumnos -en términos piagetianos- pues puede ser percibida por los propios alumnos y alumnas como muy alejada de sus posibilidades o carente de interés por su bajo nivel de resolución y, tanto en un caso como en otro, pueden producir rechazo y actitudes pasivas frente a la solución del problema. Es decir, a la hora de elaborar estas situaciones problemáticas se debe tener presente el umbral de problematicidad promedio de la mayoría de los estudiantes de un determinado nivel educativo, así como sus esquemas conceptuales de manera que el problema se pueda situar en la, denominada por Vigotsky, zona de desarrollo potencial para que pueda permitir su abordaje investigativo por el alumno, poniendo en tensión sus conocimientos y estrategias de resolución y, en definitiva, dejando espacio a su potencial de creatividad.

d) Finalmente y desde el dominio afectivo, los problemas que se planteen no sólo han de ser percibidos como problemas reales que existen o han existido por el propio profesor o profesora -en el sentido de que han tenido que resolverse en la historia de la ciencia para poder avanzar en el desarrollo de un determinado cuerpo teórico- sino que también han de "sentirse" como problemas reales e interesantes por los propios estudiantes (Garrett, 1987) y para ello es necesario que se fomente el pensamiento divergente y la creatividad en este proceso de construcción de los conocimientos científicos, lo que no siempre es sencillo y factible. Pero, por otra parte, el aprendizaje por investigación basado en la resolución de problemas de lápiz y papel, como se ha mostrado en este trabajo, puede proporcionar una motivación intrínseca al proceso de investigación y mejorar francamente la actitud positiva de los estudiantes hacia la Ciencia y su aprendizaje. Pues, como indica Einstein afrontar el reto de una investigación supone embarcarse en una "aventura del pensamiento". Y una vez embarcados en estas aventuras, conforme se avanza en la investigación -y, por tanto, en el aprendizaje- se comprueba la fuerte atracción que implica esta práctica de la creatividad como lo demuestra la búsqueda y el surgimiento de nuevos problemas a resolver por el propio investigador.

5.3.4. Una propuesta final: la enseñanza como investigación.

De todos es conocido que aquel profesor o profesora que quiera llevar a efecto una docencia de corte constructivista deberá sustituir el papel de transmisor continuo de información que le asigna la enseñanza habitual por la de facilitador del aprendizaje. En el supuesto de querer desarrollar la enseñanza como director de investigación de los grupos de alumnos de una clase de Física o Química, tendrá que enfocar coherentemente su tarea profesional en forma de

docencia como investigación. Esta orientación del proceso de enseñanza-aprendizaje hacia la investigación de situaciones problemáticas abiertas y de interés no sólo es consistente con las implicaciones fundamentales de la Historia y Filosofía de la Ciencia que anteriormente se han indicado, sino que también es convergente con el papel de investigador en la acción que desde campos de la investigación y práctica pedagógicas como la teoría crítica de la enseñanza, se vienen reclamando para el profesorado desde hace bastante tiempo (Stenhouse 1984; Cañal y Porlán 1987; Schön 1992).

Las posibles dificultades que pueden tener las tareas de la docencia como actividad de investigación tales como p.e. la conversión del currículo en programas de actividades o la dirección de una clase estructurada en pequeños grupos de investigadores “noveles”, pueden ser abordadas y fácilmente vencidas si dejamos de imaginar la docencia como la labor aislada de cada profesor. En efecto, basta con considerar a esta docencia como una tarea colectiva y abierta de profesores que, en forma de equipos docentes de investigación e innovación didáctica, desarrollan programas de actividades como hipótesis que experimentan en clase. Es decir, de nuevo aparece coherentemente la construcción de conocimientos científicos como una interacción social de tipo cooperativo sólo que aplicado a la construcción de conocimientos didácticos por los docentes.

En este sentido, la implicación de los propios profesores en su desarrollo profesional, al participar en estas tareas de investigación colectivas, generará un producto en forma de construcciones que irán conformando un cuerpo teórico de conocimientos didácticos. Estas construcciones de conocimientos en forma de experiencias innovadoras se darán a conocer a través de intercambios entre equipos docentes, al igual que ocurre en las construcciones científicas de contenidos más “duros”. Esta enseñanza por investigación irá creando la “Ciencia de enseñar Ciencia” con las aportaciones de profesores e investigadores que,

gracias a la interacción social, servirá para plantearse nuevas preguntas sobre la compleja actividad docente aportando el interés intrínseco que tiene toda tarea abierta y el fin de poder contextualizar mejor los cambios de orientación habidos en el proceso de aprendizaje y situar el momento en el que nos encontramos actualmente.

5.4. ENUNCIADO DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS PRINCIPAL

La constatación de esta hipótesis conduce al planteamiento de un problema relacionado con la búsqueda de otros currícula que mejoren el proceso de aprendizaje lo que lleva a enunciar una nueva hipótesis de trabajo que será el punto de partida de nuevos diseños experimentales tendentes a confirmarla.

Los planteamientos teóricos analizados y comentados en este capítulo permiten considerar suficientemente fundamentada una segunda hipótesis relacionada con la introducción de modelos de instrucción educativa basada en el constructivismo que mejoren el aprendizaje de las Ciencias.

Ahora bien, conviene puntualizar la expresión "mejorar el aprendizaje" dado que tradicionalmente esta mejora ha estado relacionada casi de forma exclusiva con la asimilación de los contenidos de tipo conceptual a través de las pruebas basadas en preguntas teóricas, cuestiones y ejercicios o problemas de consolidación. Entendemos que mejorar el aprendizaje supone además de aumentar la comprensión de los conceptos teóricos, aprender procedimientos y también adquirir actitudes positivas hacia la enseñanza de la materia en cuestión, tema éste básico en cualquier nivel educativo pero esencialmente en los obligatorios.

Por otra parte, en el capítulo correspondiente a la fundamentación teórica de la primera hipótesis, uno de los apartados estuvo dedicado al análisis histórico

y epistemológico de la naturaleza corpuscular de la materia. En él se destacó la importancia que ésta tuvo en la evolución de la Química especialmente porque permitía encontrar una confluencia entre los niveles de descripción macroscópica y microscópica de los mismos hechos. También se comentó las dificultades de algunos conceptos y que la enseñanza tradicional no había sido capaz de conseguir que fuesen aprendidos de forma significativa.

Por esa razón esta hipótesis principal la hemos redactado de la forma siguiente

"Es posible diseñar y desarrollar un microcurrículo, sobre la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria basada en el aprendizaje por investigación, que consiga que los estudiantes aprendan de forma más significativa y fomente actitudes más positivas hacia la Ciencia y su aprendizaje"

Este enunciado conduce a tres hipótesis derivadas relacionadas con:

a) La posibilidad de aplicar en las aulas de secundaria un microcurrículo de la naturaleza corpuscular de la materia basada en concepciones constructivistas.

b) Comprobar cómo al aplicar este microcurrículo se logran aprendizajes más significativos en muestras aleatorias de grupos experimentales de estudiantes que en muestras de grupos de control también aleatorios.

c) Demostrar que el profesorado, previamente formado en la enseñanza por investigación y que voluntariamente acepte aplicar la metodología propuesta la valorará de forma positiva.

CAPÍTULO VI

OPERATIVIZACIÓN Y DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS.

En el capítulo anterior, se describió una nueva concepción sobre el proceso de enseñanza- aprendizaje cuyas consecuencias, aplicadas a la naturaleza corpuscular de la materia, constituía el enunciado de la segunda hipótesis principal de este trabajo. Corresponde, pues, a este capítulo describir los diseños elaborados para su contrastación. Estos diseños responden a aquellas consecuencias enunciadas, a partir de considerar que la hipótesis principal se cumple, de forma que el análisis, de forma global, de los resultados de esos diseños será lo que nos permitirá confirmar la veracidad de la hipótesis.

6.1. OPERATIVIZACIÓN DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS PRINCIPAL

Como se ha realizado, en la primera hipótesis, la operativización de esta segunda se ha hecho a través del enunciado de varias hipótesis derivadas. En esta ocasión han sido tres. La primera plantea la viabilidad de diseñar y desarrollar un microcurrículo de la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria siguiendo estrategias basadas en el aprendizaje por investigación. La segunda, corresponde a la mejora en el aprendizaje experimentada por los estudiantes que sigan este tipo de estrategias, mientras que la tercera está referida a la valoración positiva que sobre el método realizará el profesorado asistente a cursos de formación en los que se les presente éste; así como en aquellos casos en que se aplique en el aula.

El enunciado de estas tres hipótesis es la siguiente:

E. Primera hipótesis derivada de H.2: *"Es posible diseñar y aplicar en el aula un microcurrículo sobre la naturaleza corpuscular de la materia, dirigida a estudiantes de secundaria, siguiendo estrategias basadas en el aprendizaje por investigación".*

F. Segunda hipótesis derivada de H.2: *"Los estudiantes que reciban enseñanzas sobre la naturaleza corpuscular de la materia, según el aprendizaje por investigación, obtendrán mejores resultados conceptuales y actitudinales que los de la población escolar del mismo nivel que las hayan recibido por transmisión verbal."*

G. Tercera hipótesis derivada: *"La presentación del nuevo modelo de aprendizaje por investigación en actividades de formación será valorada positivamente por el profesorado de Ciencias."*

Pasamos, a continuación, a describir la operativización de cada una de estas tres hipótesis derivadas fundamentando las consecuencias cuyas contrastaciones servirán para confirmar la veracidad de las mismas.

6.1.1. Operativización de la primera hipótesis derivada de H.2.

Esta primera hipótesis principal indica que es posible aplicar en el aula metodologías alternativas a la que viene utilizando una mayoría del profesorado que imparte Física y Química en las aulas de secundaria. Nosotros nos hemos decantado por una de las metodologías que se basan en la concepción constructivista del aprendizaje; en concreto, por la que se conoce como “modelo de aprendizaje por investigación”. Para mostrar que se cumple esta hipótesis hemos señalado dos consecuencias, una relacionada con la disponibilidad de material de aula escrito, coherente con la propuesta metodológica, y, otra, en la que se muestre cómo se desarrolla el aprendizaje de los alumnos y alumnas que están siguiendo el método.

E.1. Es posible elaborar programas de actividades sobre la naturaleza corpuscular de la materia que sea coherente con el modelo de aprendizaje por investigación

La intervención del profesor en el aula viene precedida de una serie de tareas. Una de ellas es la correspondiente a la preparación de la clase, lo cual supone tomar decisiones iniciales sobre el qué y cómo va a enseñarse, lo que se encuentra implícito, generalmente, en el libro de texto utilizado o el material escrito que se facilita a los estudiantes. La aplicación del modelo de enseñanza de aprendizaje por investigación que propugnamos precisa disponer de un material para los alumnos consistentes en un programa de actividades que responda a los planteamientos comentados anteriormente. Esto supone tener en cuenta tanto las aportaciones que desde el campo de la psicología y de la epistemología de las Ciencias se vienen haciendo, como las investigaciones didácticas relacionadas con los contenidos de tema que estamos tratando.

Por tanto, las actividades propuestas deberán propiciar la explicitación de las concepciones alternativas que sobre algunos de los contenidos del tema sabemos que tienen los alumnos, aflorar los posibles conflictos cognitivos que favorezcan la reflexión necesaria para que el aprendizaje sea significativo, tener en consideración las posibles dificultades de comprensión existentes y, por supuesto, proponer actividades que fomenten la aplicación de características básicas de la metodología científica como la emisión de hipótesis, el análisis de resultados, etc.

Ahora bien, la educación secundaria obligatoria comprende la etapa (12-16 años) dividida en dos ciclos, cada uno de los cuales posee una idiosincrasia particular por lo que los programas de actividades propuestos deberán contemplarla y, en consecuencia, deberán ser diferente. Por tanto, la primera consecuencia de esta hipótesis derivada que hemos enunciado es que:

E.1. “Es posible elaborar un microcurrículo, basado en la elaboración de un programa de actividades, para cada uno de los niveles educativos de la educación secundaria obligatoria, que incorpore las investigaciones didácticas sobre la naturaleza corpuscular de la materia que sea coherente con el modelo de aprendizaje por investigación”.

E.2. Es posible aplicar un programa de actividades basado en el aprendizaje por investigación en la educación secundaria obligatoria

Además de disponer del material escrito, la aplicación en el aula de los programas de actividades, según estrategias basadas en el aprendizaje por investigación, exige una disposición del aula adecuada que permita desarrollarlo siguiendo las pautas propias de las “investigaciones”. Es decir, es necesario que los alumnos y alumnas expresen sus ideas y traten de convencer a los compañeros

de las mismas a través de discusiones en pequeños grupos. El profesor o profesora, en este caso, actúa como director de la investigación a través de una puesta en común basada en las aportaciones ofrecidas por los distintos grupos. Esto supone organizar el aula de forma que los estudiantes se distribuyan en pequeños grupos para potenciar el trabajo colectivo que exige cualquier investigación. Dado que en la actualidad, el número de alumnos de estos niveles oscila entre treinta y cuarenta, los grupos se aconsejan que sean de cuatro a seis miembros. De esa forma cada grupo dispone de un número de componentes adecuado para propiciar la participación de todos ellos y, por otra parte, el número total de grupos permite que en la puesta en común puedan participar todos o casi todos los grupos.

Por tanto esta nueva consecuencia contrastable supone poner de manifiesto la concreción en el aula del modelo de enseñanza propuesto. Es decir:

E-2. "Es posible desarrollar estos programas de actividades sobre la naturaleza corpuscular de la materia en una clase organizada en pequeños grupos de "investigadores noveles".

6.1.2. Operativización de la segunda hipótesis derivada de H.2

Si se cumple la hipótesis derivada anterior debemos ahora mostrar que la utilización en el aula conducirá a una mejora en el aprendizaje al evaluar, de forma comparativa, el aprendizaje obtenido por el alumnado que es instruido según estrategias basadas en el aprendizaje por investigación con aquellos que han seguido metodologías consideradas convencionales. Por ello, a continuación, pasaremos a citar las consecuencias de esa mejora que serán tanto de tipo conceptual como actitudinal.

F.1. El aprendizaje de los alumnos y alumnas instruidos según el aprendizaje por investigación es más significativo.

En la contrastación de la primera hipótesis principal H.1 se mostró que el aprendizaje de los alumnos y alumnas que son instruidos por metodologías convencionales resulta poco significativo al analizar los resultados obtenidos en las respuestas a cuestiones relativas a conceptos sobre la materialidad de los gases, y a la interpretación de las propiedades a partir del modelo de materia. Por otra parte, una de las críticas a la enseñanza por transmisión verbal de conocimientos previamente elaboradas fue que no era válida para lograr cambios conceptuales. Por tanto, si esta hipótesis es correcta deberá producirse una mejora en este tipo de contenidos de carácter conceptual, por ello la consecuencia que deberemos contrastar es la siguiente:

F-1. “Los alumnos y alumnas que sigan los programas de actividades elaborados siguiendo estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje por investigación obtendrán un aprendizaje más significativo de la naturaleza corpuscular de la materia”.

F.2. La enseñanza, a través del aprendizaje por investigación, logra que los estudiantes muestren actitudes más positivas hacia el aprendizaje de las Ciencias

Ya se ha comentado la importancia que las actitudes tienen en el aprendizaje significativo, especialmente en los niveles educativos que son obligatorios como, actualmente lo es, el de la etapa 12-16 que estamos estudiando. Coherente con esta posición la contrastación de que la metodología propuesta mejora el aprendizaje supone comprobar que además de los conceptos también se mejora en las actitudes. En consecuencia:

F-2. *“Los estudiantes que reciben formación a través de metodologías basadas en el aprendizaje por investigación mostrarán un mayor interés hacia la enseñanza de la Física y la Química”.*

6.1.3. Operativización de la tercera hipótesis derivada de H.2

Un aspecto imprescindible en el campo de la investigación didáctica es el dar a conocer los resultados alcanzados y transmitir las conclusiones, de forma que pueda ser asumido por el profesorado; pues, éstos son los que deben dar validez al proceso ya que de poco serviría si las conclusiones sólo son llevadas a la práctica por el investigador. Por esa razón, una vez demostrado que la metodología basada en el aprendizaje por investigación resulta más eficaz para conseguir que éste sea más significativo debemos, también, comprobar que la extrapolación del modelo a los profesores y a las profesoras es, en general, posible y que además éstos, al conocerlo, lo valorará de forma positiva y mostrarán actitudes positivas para integrarlos en su práctica.

Este análisis nos ha conducido a enunciar la tercera hipótesis derivada en los términos expresados al comienzo del capítulo, la cual vamos a contrastar a través de nuevos diseños. El trabajo del investigador, en estos años, dirigidos a la formación del profesorado facilitó este proceso. Esta nueva consecuencia la hemos enunciado de la forma siguiente:

G. *“Los profesores y profesoras de Física y Química a los que se les presente la nueva metodología mostrarán su aprobación en que el método mejora el aprendizaje de esta materia y se mostrarán partidarios de incorporarla a sus aulas”.*

6.2. PANORÁMICA GENERAL DE LOS DISEÑOS PROGRAMADOS PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS.

Tal como se realizó en la primera hipótesis la contrastación de esta segunda la hemos realizado a través de programar un diseño múltiple y convergente.

Dado que una de las partes del diseño necesita contrastar el aprendizaje de los alumnos que siguen el programa de actividades confeccionado, siguiendo el modelo de enseñanza por investigación anteriormente expuesto era necesario seleccionar los niveles de los grupos en los que se debería experimentar. Puesto que el investigador es profesor de Física y Química de BUP del I.B. Juan de Garay de Valencia y a pesar de que en el momento de la experimentación -curso 1988/89- gozaba de Comisión de Servicios, desarrollando un trabajo docente sin alumnos, pactó con la dirección del citado centro para poder impartir docencia en uno de los grupos de 2º de BUP durante todo el curso escolar. La elección del nivel era debido a que se consideraba que era el curso de EEMM más adecuado, ya que en 2º es cuando se estudia, por primera vez en esta etapa, la naturaleza corpuscular de la materia; si bien, previamente, en la EGB, lo habían estudiado lo que permitía conocer las concepciones alternativas existentes así como la posible incidencia en el aprendizaje logrado en su etapa anterior y la que conseguirían después de la instrucción. En este caso las pruebas siempre debían realizarse tres meses, al menos, después de haber finalizado el estudio del tema para poder considerar significativo el aprendizaje. Además, es el único nivel en el que la Física y Química es obligatoria lo que le confiere un claro carácter formativo y en donde las actitudes desarrollan un papel clave.

Además del 2º de BUP, las razones aludidas anteriormente hacía necesario experimentar también con un grupo de 2ª etapa de EGB. Además de que en el futuro Sistema Educativo, este curso está asimilado al primer ciclo de la etapa educativa correspondiente a la secundaria obligatoria. Para ello se pactó con la dirección del C.P. Rodriguez Fornos y con el Departamento de Naturales del Colegio y se llegó al acuerdo de experimentar en un curso de 8º durante todo el tiempo previsto para la enseñanza de la Química (además de esta materia el Departamento tenía programado Ciencias Naturales). Se eligió ese nivel porque según la programación del Departamento era cuando se tenía previsto enseñar la naturaleza corpuscular de la materia. Mi intervención en ese Colegio duró cuatro meses, de los cuales un mes dediqué al tema de la naturaleza corpuscular de la materia.

Estos dos centros se encuentran ubicados en el mismo barrio de la ciudad de Valencia y pueden considerarse que los alumnos y alumnas son de clase media. Por otra parte los grupos de estudiantes fueron elegidos aleatoriamente.

Por otra parte, dado que en otros diseños se quería comparar el aprendizaje obtenido independientemente del profesor o profesora, se utilizaron también como experimentales muestras de alumnos y alumnas procedentes de otros profesores y profesoras, los cuales habían aceptado utilizar los programas de actividades a través de la metodología, en la que previamente habían sido instruidos y con los que se mantenía reuniones periódicas en las que se analizaban y discutían las actividades de los programas-guías que debían utilizar.

En cuanto al profesorado utilizado como muestra experimental, eran profesores y profesoras que de forma voluntaria asistían a actividades formativas relacionadas con la Didáctica de la Física y la Química y en las que el autor de esta investigación era uno de los organizadores.

Respecto a los procedimientos utilizados en la obtención de los datos han sido similares a las anteriores. Así, los cuestionarios escritos ha sido la técnica

más utilizada. Éstos, en ocasiones, han sido abiertos y otras veces de respuesta cerrada. Algunos de los cuestionarios utilizados han sido los mismos que fueron utilizados en la primera hipótesis ya que una de las consecuencias deducidas del cumplimiento de esta hipótesis es la mejora en el aprendizaje, por ello la comparación entre grupos de control (alumnos y alumnas que han sido instruidos por metodologías convencionales) y grupos experimentales (instruidos con la metodología propuesta) permitirá comprobar si esa mejora aludida se produce o no. No obstante, también se han utilizado otros cuestionarios nuevos en los que la referencia eran los conocimientos que los alumnos y alumnas, de estas edades y niveles educativos, tienen según otras investigaciones didácticas sobre el mismo tema. Todos estos cuestionarios fueron previamente validados por grupos de profesores. Los dirigidos a los cursos experimentales por el Departamento del Centro y los dirigidos al resto de grupos por compañeros que formábamos el equipo encargado de los cursos de formación y otros, componentes de Proyectos de innovación (Seminario de F y Q de ICE 1986, Climent et al 1990, Benedito y Solbes 1990) .

Además de los cuestionarios se han utilizado otro tipo de procedimientos como ha sido la grabación tanto en audio, para conocer el cambio actitudinal en un grupo experimental, como en video-tape, para registrar el desarrollo de algunas clases.

También se han incorporado cuestionarios dirigidos al profesorado ya que, tal como se ha fundamentado anteriormente, es necesario que éstos valoren positivamente la metodología para que ésta pueda ser asumida por ellos y, consecuentemente, los resultados determinados en esta investigación tengan efectos pragmáticos. Estos cuestionarios fueron validados por el equipo de profesores encargados de los cursos de formación.

6.3. DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS DERIVADA DE H-2 SEGÚN LA CUAL ES POSIBLE APLICAR EN EL AULA ESTRATEGIAS BASADAS EN EL APRENDIZAJE POR INVESTIGACIÓN.

Para contrastar esta hipótesis se enunciaron dos consecuencias: una relacionada con la posibilidad de ofrecer un material escrito, coherente con los planteamientos didácticos de la metodología, y otra dirigida a comprobar la funcionalidad en el aula, cada uno de los cuales tiene un diseño diferente que, a continuación, describimos.

D.11. Diseño para comprobar que es posible disponer de un material escrito coherente con la metodología propuesta.

Coherente con la fundamentación teórica descrita en el capítulo correspondiente, la unidad didáctica deberá tener en cuenta las aportaciones tanto del campo de la psicología como de la epistemología así como las investigaciones didácticas realizadas relativas a los contenidos de este tema. Esto supone tener en cuenta tanto el desarrollo cognitivo de los alumnos como las concepciones previas y las dificultades de aprendizaje que tienen los contenidos del tema en estudio.

Precisamente, tener en cuenta el desarrollo cognitivo del alumnado, según las investigaciones en ese campo, es lo que nos ha conducido a plantear, en el primer ciclo (8º de EGB en la experimentación), un estudio cualitativo y básicamente macroscópico dejando para el segundo ciclo la presentación cuantitativa y submicroscópica del tema. Es decir, en el primer ciclo se estudian las propiedades generales que caracterizan a toda la materia y aquellas que son más particulares de los gases y se elabora un modelo elemental capaz de justificar éstas. Mientras que en el segundo ciclo (2º de BUP en la experimentación) se

utiliza el modelo para describir el comportamiento de los gases, a través de deducir las leyes que permiten justificar su comportamiento. Finalmente se realiza la extrapolación del modelo corpuscular del gas a los otros estados de la materia.

Por tanto, el diseño consiste en elaborar dos programas de actividades. Estos programas serán el resultado de la visión constructivista del currículum en los que mediante las oportunas actividades se pretende que los estudiantes alcancen los objetivos y aprendan los contenidos previstos. Ello significa que habrán actividades dirigidas a que los estudiantes hagan explícitas sus concepciones alternativas y las apliquen de forma que les permita comprobar su validez y, en caso necesario, modificarlas. Además, el estudio dirigido a la determinación de la ley general de los gases puede realizarse a través de familiarizar a los estudiantes con características del trabajo científico ya que permite: emitir hipótesis sobre la relación entre las variables de las que dependen el estado de un gas, operativizar ésta mediante la emisión de hipótesis cuantitativas, con un control de variables previo, proponer diseños experimentales adecuados, aplicarlos y analizar los resultados mediante la realización de gráficas adecuadas. Por otra parte, dado que estos programas de actividades se han desarrollado siguiendo una concepción personal del autor y el objetivo es ofrecer una unidad válida para cualquier profesor o profesora que desee utilizarlo en el aula, se acompañan de una guía comentada que permita conocer, al lector, los objetivos e intenciones de cada una de las actividades.

D.12. Diseño para mostrar cómo el alumnado es capaz de aprender la naturaleza corpuscular de la materia investigando.

Una vez comprobado que es posible disponer de materiales de aula a través de los cuales se puede aplicar un método de enseñanza basado en el aprendizaje por investigación tenemos que mostrar su aplicación en el aula.

Esto se realizó a través de una grabación realizada durante el mes de Febrero de 1989 y corresponde a las sesiones que van desde el momento en el que se presenta el problema de la continuidad o discontinuidad de la materia hasta que se alcanza el modelo cinético para los gases. Durante ese tiempo se pretende mostrar cómo los estudiantes, organizados en grupos, participan en la solución a las actividades planteadas en el programa de actividades que han sido presentadas por el profesor, discutiendo entre ellos y participando en la posterior puesta en común.

El alumnado participante corresponde al 2º de BUP experimental. El profesor de Física y Química de este grupo era el propio investigador que desde el comienzo del curso escolar utilizaba esta metodología por lo que cuando se comenzó el tema de la estructura de la materia ya llevaban tiempo con él (el tema se comenzó en el mes de Marzo) por lo que ya les resultaba familiar.

6.4. DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS DERIVADA DE H.2 RELATIVA A LA MEJORA EN EL APRENDIZAJE.

Hasta ahora, se ha podido contrastar que el aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia que logran los estudiantes de secundaria obligatoria que son instruidos a través de metodologías convencionales basadas en la transmisión verbal de conocimientos previamente elaboradas es poco significativo, comprobando como una mayoría de ellos no han superado muchas de las concepciones alternativas con las que comenzaron su estudio.

Esta contrastación se ha realizado mediante varios diseños. En los primeros se compararán los resultados obtenidos por grupos experimentales y de control, al responder a los mismos cuestionarios. Además, también se han considerado diseños dirigidos a mostrar las actitudes de los estudiantes que siguen esta metodologías ya que el interés del alumnado se considera que es un elemento esencial para aprender significativamente.

D.13. Diseño para mostrar que los alumnos y alumnas del grupo experimental de 2º aprenden de forma más significativa y, por tanto, responden mejor a cuestiones relacionados con la materialidad de los gases.

Se recordará que uno de los diseños de la primera hipótesis principal que nos sirvió para poner de manifiesto la falta de un aprendizaje significativo, en los estudiantes tratados con metodologías tradicionales, fue el estudio sobre las respuestas dadas a un cuestionario basado en la aplicación de la conservación de la masa a procesos químicos y físicos en los que se forman gases (**D.2 pág.**). Los tres propuestos: reacción de la aspirina efervescente cuando se vierte sobre agua, la combustión del papel y la vaporización de una determinada cantidad de agua, suponían cambios en los que la formación del gas aumenta progresivamente. La tabla 4.2. permitió mostrar que el porcentaje de alumnos y alumnas que respondían erróneamente era elevado. Por tanto, si la hipótesis es correcta una consecuencia de la misma será que los alumnos experimentales deberán responder correctamente, en un porcentaje significativamente mayor, a las cuestiones relacionadas con la materialidad de los gases por lo que el diseño programado para comprobar esta afirmación consistió en pasar a los alumnos experimentales el cuestionario del documento-2 y comparar los resultados.

Para comprobar en qué grado las dificultades de aprendizaje se habían superado, se pasó un cuestionario dirigido al grupo experimental de 2º de BUP al finalizar el curso, en el mes de Junio, cuando ya habían transcurrido tres meses desde que se había estudiado el tema y cuando las notas ya las conocían los estudiantes. De esta forma se eliminaba este estímulo que podía favorecer al grupo experimental con respecto a los de control.

D.14. *Diseño para mostrar, de forma comparativa, la mejora en el aprendizaje.*

Otro diseño destinado a comprobar la posible mejora sobre algunos de los conceptos cuyas dificultades ya habían sido puestas de manifiesto por diseños correspondientes a la contrastación de la hipótesis anterior consistió en comparar las respuestas de los alumnos y alumnas procedentes del grupo de 8° de EGB experimental con otros grupos de niveles iguales o superiores. La cuestión que se les planteó presentaba una situación en cuya respuesta se había de aplicar el principio de Pascal: “La presión de un gas se ejerce, por igual, en todas las direcciones” o también se podía explicar mediante el uso del modelo de gas, según el cual las partículas se mueven al azar en todas direcciones por lo que no hay direcciones privilegiadas en cuanto a la presión ejercida. Como ya antes hemos comentado, algunas de las evidencias más comunes, como puede ser el ascenso vertical del humo, dificultan aceptar este principio.

Por esa razón, el diseño ha consistido en comparar los resultados a la cuestión 4 del documento-1 que planteaba una situación en la que al calentar agua en un recipiente cerrado y tapado con tapones en diferentes posiciones se preguntaba sobre cuál tenía una mayor probabilidad de saltar primero como consecuencia del aumento de presión producida al calentar el matraz. La prueba, al grupo experimental, se pasó en el mes de Junio cuando ya habían recibido las calificaciones por los motivos anteriormente expuestos.

D.15. Diseño para mostrar el aprendizaje conseguido en los alumnos y alumnas del grupo de 8° experimental.

Este diseño estaba destinado a comprobar cómo la utilización de las estrategias didácticas en la enseñanza por investigación logra un cambio mucho más significativo en las concepciones alternativas que poseen los alumnos.

El diseño ha consistido en presentarles un documento en el momento de comenzar a estudiar este tema y devolvérselos después para que lo autocorrigieran. El pretest se pasó el primer día de entrar en clase después de explicarles cuál era el objetivo del mismo. El desarrollo del programa de actividades duró cinco semanas (15 sesiones de 1 hora) y fueron impartidas por el autor de este trabajo, tal como ha quedado reflejado en la presentación general del diseño. El posttest se pasó tres meses después de haber finalizado las clases correspondientes al tema en cuestión, y se realizó dándoles el ejercicio que habían hecho a cada uno de sus autores, solitándoles que los corrigiesen e indicasen si seguían estando de acuerdo con las respuestas formuladas en el papel. En caso negativo el estudiante debería sustituir las respuestas dadas a cada uno de los ítems del cuestionario. Es decir se trataba de una prueba de autorregulación sobre lo que habían aprendido en clase (Alonso 1993). Así, fue posible valorar el cambio de ideas producido como consecuencia de la enseñanza recibida

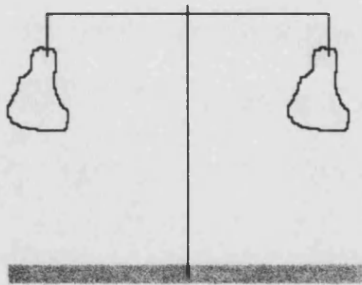
Las cuestiones presentadas estaban relacionadas con propiedades de los gases y su interpretación a través de modelos basados en partículas. Según el objetivo del diseño propuesto lo interesante, para nosotros, no era conocer las posibles concepciones alternativas que tuviesen los estudiantes, sino comparar las que tenían al comienzo del tema con las adquiridas una vez transcurrido un tiempo prudencial, para comprobar cuál había sido la incidencia de la enseñanza. El tema comenzó a impartirse en el mes de Enero y la prueba final se pasó en Mayo.

Las cuestiones propuestas se encuentran en el documento-11.

DOCUMENTO-13. Evolución de las ideas en el alumnado de 8º de EGB

Esta prueba tiene como objetivo averiguar cuáles son tus ideas sobre las cuestiones que se preguntan, te ruego que pongas el mayor interés en contestar después de haberlas leído con cuidado. Puedes utilizar todo el tiempo que necesites y si no la entiendes puedes preguntar al profesor.

1. La fig-1 representa una balanza en equilibrio en cuyos extremos se han colocado dos globos vacíos. Si uno de ellos lo llenamos de aire todo lo que podemos, ¿crees que la balanza se desequilibrará?



Cualquiera que sea tu respuesta explícala con detalle.

2. En distintas ocasiones habrás oído decir que los gases ocupan todo el volumen del recipiente que lo contiene. Si pudiéramos “ver” el aire contenido en un globo hinchado, ¿qué crees que observaríamos? Haz un dibujo y explícalo.

3. Si tomas una jeringa con aire dentro y tapas su salida puedes desplazar inicialmente el émbolo, comprimiendo el aire que se encuentra dentro. Eso mismo no es posible si en el interior de la jeringa hay un líquido como el agua, ¿sabrías dar una explicación de la compresión producida en el gas?

Si se continua apretando el émbolo llega un momento en que éste no se desplaza más. Explica por qué sucede.

4. En una habitación se encuentra un matraz cerrado que contiene un gas oloroso. Si se destapa éste al poco tiempo el olor llega a toda la habitación. Justifica el por qué.

5. Al calentar un trozo de hierro puede comprobarse que aumenta un poco de volumen. Justifica este hecho diciendo lo que crees que le habrá pasado a las partículas que forman el hierro.

6. Si dejamos en la nevera un globo hinchado se observa al poco tiempo que se produce una disminución del volumen. Justifica este hecho diciendo lo que le sucede a las partículas del aire que se encuentran en el globo.

D.16. Diseños para contrastar cómo los alumnos instruidos con estrategias basadas en el aprendizaje por investigación son capaces de responder mejor también ante ejercicios considerados de grandes dificultades cognitivas.

El último de los diseños programados para contrastar las dificultades existentes en el aprendizaje del tema que estamos tratando, así como la incidencia de la enseñanza en ellos, consistió en comprobar los estudiantes que eran capaces de realizar correctamente un ejercicio en el que debían manejarse, de forma coordinada, conceptos del mundo macroscópico -relaciones volumétricas de gases- con otros del microscópicos- fórmulas de los compuestos gaseosos que intervienen- (doc pçág) .

Los resultados de la muestra de estudiantes del CAP fue suficientemente indicativa. Por ello también consideramos que los resultados que se pudiesen obtener con los alumnos del grupo experimental permitía aportar más datos al estudio comparativo que, sobre el aprendizaje, viene realizándose para contrastar la hipótesis.

Ahora bien, los resultados tan bajos obtenidos por los estudiantes del CAP hacía prever que la prueba en sí no fuera suficientemente discriminativa, lo que nos aconsejó proponer otro ejercicio de características parecidas pero en el que las dificultades cognitivas fueran inferiores. Por ello propusimos un nuevo ejercicio, de respuesta cerrada, y en donde se ofrece la fórmula como dato y se pregunta por el volumen (doc. 14). Los primeros resultados alcanzados pusieron de manifiesto claramente la menor dificultad conceptual existente en este ejercicio.

DOCUMENTO-14. Relación de volúmenes de gases en una reacción

Un litro de un gas formado por partículas de fórmula "A" reaccionan con un litro de otro gas, de fórmula, "B", obteniéndose otro gas de fórmula "AB". ¿Cuántos litros de este compuesto se formarán en las mismas condiciones de presión y temperatura? Señalar la respuesta que os parezca correcta de entre las siguientes:

- a) 2 litros b) 1 litro c) 3 litros d) No puede saberse. e) No lo sé

Explicación:

Como muestra de control se utilizaron grupos diferentes a los del primer ejercicio ya que, según manifestaron sus profesores, habían utilizado el ejercicio para realizar comentarios al respecto por lo que las respuestas a este segundo ejercicio hubiesen estado contaminadas. No pasaba lo mismo en el experimental puesto que en este grupo se pasaron las dos cuestiones de forma simultánea, ya que cuando se hizo éramos conscientes de la situación y, consecuentemente, de los objetivos perseguidos.

En concreto como grupos de control se utilizaron cuatro grupos de 2º de BUP, tres de 3º y dos de COU, procedentes de tres institutos diferentes, siendo los de 3º y COU alumnos todos que habían elegido la Química y cuyo profesorado aplicaban la metodología que hemos venido en llamar de transmisión verbal de conocimientos previamente elaborados. Todos ellos habían estudiado tanto el modelo cinético para gases como la hipótesis de Avogadro.

D. 17. Diseño para comprobar que los estudiantes procedentes de profesores y profesoras que utilizan los programas de actividades aprenden los conceptos de forma más significativa.

Hasta ahora todos los diseños dirigidos a comprobar la mejora del aprendizaje se han realizado utilizando como grupos experimentales uno de 8º de EGB y uno de 2º de BUP y cuyo profesor había sido, en ambos casos, el investigador de este trabajo.

Sin embargo, como el objetivo esencial de este trabajo radica en comprobar la mejora producida en el aprendizaje basándose en el “cambio metodológico”, considerábamos que había que controlar, en la medida de lo posible, el factor profesor. Por esa razón, se diseñaron pruebas en las que se pudiese valorar la influencia de la metodología independientemente del profesor o profesora lo cual suponía necesariamente la participación de un mínimo número de profesorado que estuviese utilizando la metodología en el aula.

Así pues, durante el curso 1990/91, se hizo una convocatoria a profesores y profesoras que, de forma voluntaria, aceptasen utilizar esta metodología. Este profesorado fue preparado previamente en la metodología de la enseñanza por investigación y fue asesorado durante todo el desarrollo de la experiencia por el propio investigador ya que éramos conscientes de las dificultades que conlleva lograr un cambio metodológico tanto en alumnos como en profesores.

Esta prueba se pasó a **159** estudiantes de 2º de BUP cuyo profesorado utilizó la metodología que estamos analizando y a **195** estudiantes que habían recibido enseñanza a través de metodologías de enseñanza convencional.

El diseño programado para comprobarlo ha consistido en comparar los resultados a una cuestión relacionada con la conservación de la masa en una reacción, similar a otras que ya se había propuesto en los diseños de la primera hipótesis.

En esta ocasión la prueba se pasó a comienzos del curso siguiente, en octubre; es decir, cuando ya eran alumnos de 3° de BUP por lo que las respuestas señalarían el aprendizaje significativo logrado el curso anterior, en el que habían estudiado el tema de la naturaleza corpuscular de la materia.

La cuestión fue la siguiente:

DOCUMENTO-15 Conservación de la masa en una combustión.

Dentro de una campana cerrada se quema completamente un poco de algodón (figura). Si pesamos todo el recipiente antes (1) y después del proceso (2), resultará que:



- a) Pesan lo mismo
- b) El peso de (1) será menor que el (2)
- c) El peso de (1) será mayor que el (2)
- d) No lo sé

Explicación

Diseños para mostrar la mejora actitudinal de los alumnos experimentales.

Los diseños anteriores han permitido mostrar la mejora en los contenidos de tipo conceptual logrado al utilizar los programas de actividades sobre la naturaleza corpuscular de la materia (anexos I y II). Ahora bien, según comentamos en la fundamentación teórica de esta segunda hipótesis: “Los

estudiantes son responsables de su propio proceso de aprendizaje”, esto significa que uno de los aspectos que mayor influyen en la consecución de aprendizajes significativos es la actitud del estudiante hacia el aprendizaje de la Física y Química; es decir, el interés que el aprendiz tenga por “querer aprender estas disciplinas”. Por esa razón el tema actitudinal tiene tanta importancia en el proceso de enseñanza. En consecuencia un trabajo que pretenda comprobar la bondad de una nueva metodología de enseñanza tiene necesariamente que comprobar también este aspecto.

Por esa razón, a continuación, se presentan diseños dirigidos a conocer si los estudiantes enseñados siguiendo esta metodología muestran, también, actitudes más positivas hacia el proceso de su propio aprendizaje.

D.18. Entrevista para mostrar que los alumnos del grupo experimental de 2º de BUP valoran positivamente el cambio metodológico en la enseñanza de la Física y Química en ese curso.

El primero de los diseños planificados para comprobar la mejora actitudinal consistió en entrevistar a alumnos y alumnas del grupo experimental de 2º de BUP destinadas a conocer su opinión sobre el método de enseñanza seguido. La entrevista fue realizada por un compañero del centro que no había sido su profesor para evitar posibles condicionamientos en las respuestas y fue grabada en audio-tape.

Al entrevistador se le dieron unas instrucciones previas con el guión de la entrevista (documento-16). Se le sugirió que antes de comenzar las preguntas dedicase un tiempo a familiarizarse con el entrevistado y se validó con el objetivo de cada una de las preguntas del documento, para que de esa forma las respuestas buscadas correspondiesen con el objetivo perseguido.

Se entrevistó a un alumno y tres alumnas pertenecientes al grupo de 2º de BUP utilizado como experimental y fueron elegidos sin utilizar ningún criterio valorativo más que el del azar. Para ello se le entregó al entrevistador una lista del alumnado del grupo el cual preguntó, en la clase a uno de ellos que le dijera un número, a partir del cual comenzó a ir eligiendo a los estudiantes poniendo la condición de entrevistar a todos aquellos cuyos números de orden de la lista acabasen en 5 (condición previamente concertada que no hizo pública). Al alumno elegido lo llamaba el compañero que antes había participado y la entrevista se realizó en el laboratorio del centro durante el curso 198/89.

El entrevistador fue un compañero con gran experiencia tanto como profesor de física y química como investigador, habiendo realizado en diversas ocasiones entrevistas de características parecidas a la que ahora le solicitamos. El documento que se consensuó fue el siguiente:

DOCUMENTO-16. Guión de la entrevista a alumnos de 2º experimental

Relación de las preguntas mínimas que necesariamente deben formularse:

1. ¿Cuál es tu opinión respecto al método de enseñanza empleada por el profesor de física y química comparada con la enseñanza de la misma disciplina recibida en anteriores cursos o con otras materias del mismo curso.

2. ¿Qué diferencias has encontrado entre los métodos de enseñanza? ¿Qué ventajas o inconvenientes encuentras en el método?

3. Indica si con este método se participa más en clase.

4. Señala si te ha permitido nuevas formas de trabajar y si prefieres de esta forma o la basada en las explicaciones del profesor.

5. ¿Crees que el método te ha ayudado a aprender más la asignatura?

6. Haz una valoración del método.

7. ¿Consideras que esta forma de estudiar la física y la química te ha hecho aumentar el interés por la asignatura? Consideras que de forma global te ha resultado satisfactorio esta forma de estudiar.

D.19. Diseño para conocer el grado de satisfacción del grupo experimental de 8º de EGB.

El segundo diseño planificado para comprobar la mejora actitudinal estaba destinada al grupo experimental de 8º y, en esta ocasión, pretendimos conocer la opinión generalizada de todos ellos para lo que se acudió a preparar un cuestionario que pudiesen contestar por escrito.

Recordemos que el grupo experimental de 8º de EGB pertenecía a un centro en el que la metodología de enseñanza utilizada por la totalidad del

profesorado de Ciencias, antes de empezar la experiencia, era la que estamos considerando como tradicional; es decir, basada en la transmisión verbal. Después del primer trimestre de curso, es decir, a partir del mes de Enero el autor de esta investigación aplicó la nueva metodología por lo que la opinión reflejada a través de un cuestionario dirigido a todo el alumnado de la clase podía ser un instrumento útil para valorar el posible cambio actitudinal.

El cuestionario se pasó al finalizar el curso que según las investigaciones en este dominio es cuando las actitudes se encuentran en su nivel más bajo. Debe señalarse que cuando se acabó el tema de la naturaleza corpuscular de la materia el profesor habitual de esta clase, asistente como observador al desarrollo del mismo, optó por seguir esta misma metodología. De esta manera, se pudo controlar la variable “profesor” y, por ello, en la presentación de la encuesta se les insistió en que el objetivo de la misma consistía en comparar los métodos de enseñanza que habían experimentado a lo largo del curso.

El contenido de los cuestionarios aplicados consta en el documento-17 y es el siguiente:

DOCUMENTO-17 Cuestionario para conocer la opinión de los alumnos y alumnas del 8º experimental, sobre la metodología utilizada en la enseñanza de la Química.

Valora tu grado de acuerdo (total 10) o desacuerdo (total, 0) con cada una de las proposiciones siguientes que relacionan lo aprendido a través del método de enseñanza recibido en Química.

1. Mi interés por la Ciencia en general ha aumentado ()
2. Me ha permitido comprender mejor los conocimientos enseñados ()
3. He adquirido nuevas formas de trabajar y de pensar que antes no tenía ()
4. Me ha ayudado a relacionarme más con los compañeros -..... ()
5. Con este método se favorece mi atención y dedicación al trabajo en clase . ()
6. Se favorece la participación de los alumnos en clase ()
7. Prefiero que el profesor explique los temas y, a veces, ponga ejemplos
problemas para que los resuelva el alumno..... ()
8. Prefiero que el profesor proponga continuamente actividades en clase
para resolver en pequeños grupos..... ()
9. Prefiero trabajar individualmente que en grupos ()
10. Valora de 0 a 10 tu satisfacción con el método de enseñanza
que has seguido esta evaluación en las clases de Química ()

D.20. Diseño para conocer la opinión de los estudiantes a los que se les ha enseñando la Física y la Química a través de metodologías basadas en el aprendizaje por investigación.

Como ya se ha mencionado en el diseño D-17, el estudio sobre la bondad de la metodología obliga a reducir el factor profesor, lo que es posible realizar aplicando instrumentos a los estudiantes que han sido instruidos con la metodología que estamos investigando por profesores y profesoras diferentes al investigador.

En este caso se han utilizado **730** alumnos pertenecientes a 20 grupos de 7 Institutos, mientras que el de control fueron **134** estudiantes pertenecientes a 3 de estos institutos

El diseño consistió en pasar a los estudiantes, del profesorado al que nos referimos en el D-17, un cuestionario con preguntas sobre aspectos actitudinales. Este mismo cuestionario se presentó a alumnos y alumnas de algunos de estos institutos pero cuyo profesorado utilizaba metodologías de enseñanza convencionales y que voluntariamente aceptaron que se les aplicase el mismo cuestionario. Estos formarán el grupo de control y permitirá así la comparación de las respuestas.

. El documento que se les pasó fue el siguiente:

DOCUMENTO-18 Cuestionario para comparar actitudes referidas al aprendizaje de las Ciencias

Se está realizando un estudio, con la ayuda de los alumnos y las alumnas, dirigido a comprobar cómo valoran éstos el aprendizaje de la Química que han logrado y, al mismo tiempo, que opinan sobre los métodos de enseñanza empleados por sus profesores y profesoras en esta disciplina.

Por eso te hacemos unas preguntas que sólo pretenden saber qué es lo que piensas y, por supuesto, las contestaciones serán anónimas y confidenciales.

En todas las preguntas se pide la valoración entre 0 y 10 según el grado de acuerdo o desacuerdo con las afirmaciones de las proposiciones planteadas. Te rogamos seas lo más sincero posible en tus respuestas y que no tengas prisas en contestar puesto que nos gustaría estar seguros de que las respuestas son producto de opiniones perfectamente valoradas.

1. Las siguientes proposiciones se refieren a lo que has logrado aprender de Química gracias al método seguido:

1.1. Mi interés por la Ciencia, en general, ha aumentado ()

1.2. Me ha permitido comprender mejor los contenidos estudiados ()

1.3. He adquirido nuevas formas de trabajar y de pensar que antes no tenía..... ()

2. Los aspectos siguientes hacen referencia a la forma en cómo te han dado las clases de Física y Química durante este curso comparándolas con las recibidas, en esta misma materia, en otros años o con las de otras materias durante el presente curso..... ()

2.1. Con este método se favorece mi atención y dedicación al trabajo en clase ()

2.2. Se favorece la participación de los alumnos en clase ()

2.3. El profesor tiene en cuenta las ideas de los alumnos y alumnas sobre el contenido estudiado..... ()

2.4. Prefiero que el profesor explique los temas y, a veces, ponga ejemplos o problemas para resolver..... ()

2.5. Prefiero que el profesor ponga todo el tiempo actividades en clase a pequeños grupos de trabajo..... ()

3. Valora globalmente tu satisfacción con el método de enseñanza que has recibido este año en las clases de Física y Química..... ()

6.5. DISEÑOS PARA CONTRASTAR LA TERCERA HIPÓTESIS DERIVADA DE H-2 SEGÚN LA CUAL EL PROFESORADO VALORARÁ POSITIVAMENTE EL CAMBIO METODOLÓGICO PROPUESTO.

La situación actual de cambios curriculares en el que el País se encuentra, facilita la convocatoria de cursos de formación dirigida al profesorado, entre los que se encuentran los referentes a la Didáctica de la Física y Química. En muchos de ellos uno de los módulos tiene por objeto presentar alternativas metodológicas a la transmisión verbal. La dedicación actual del autor de este trabajo a la formación del profesorado en activo, ha facilitado la programación de diseños dirigidos a contrastar esta importante hipótesis derivada pues, como ya se ha mencionado, cualquier propuesta metodológica que pretenda serlo debe, al menos, contar con la aprobación de los encargados de aplicarla.

Para contrastar esta hipótesis se han programado dos diseños que a continuación describimos.

D.21. Diseño dirigido a conocer la opinión del profesorado sobre la propuesta metodológica.

Este primer diseño dirigido a comprobar que el profesorado que accede a conocer la metodología propuesta la valora positivamente ha consistido en preparar un cuestionario dirigido al profesorado que había participado de forma voluntaria en un curso de formación sobre Didáctica de las Ciencias y que había decidido utilizar el programa de actividades del anexo I.

En este curso participaron 27 profesores y profesoras de EGB, de colegios públicos y concertados ubicados en la ciudad y en pueblos de Valencia. Estos docentes enseñaban Ciencias en la segunda etapa de EGB y la mayoría era un profesorado experto con bastante años en la docencia. El curso tenía una fase

intensiva de 30 h. en las que se les presentó, de forma fundamentada, una propuesta curricular de la Química basada en el aprendizaje por investigación y una fase, voluntaria, de seguimiento en el que este profesorado aceptaba aplicar en el aula los programas de actividades propuestos tutorizados por el autor de esta investigación que fue el responsable del curso, tanto de la fase intensiva como de la de seguimiento.

El cuestionario propuesto para conocer su opinión sobre la metodología se les pasó cuando ya había finalizado el curso, en una sesión de evaluación final. Por tanto, ya tenían experiencia en su aplicación y se les solicitaba que puntuasen, entre 0 a 10 cada uno de los items, comparando la metodología que hasta ahora venían utiliznado, para enseñar Química, con la que acababan de aplicar en el presente curso. El cuestionario (documento-19) tenía varias partes puesto que la mejora propugnaba era tanto en conceptos, como en procedimientos y actitudes.

DOCUMENTO-19. Cuestionario para evaluar comparativamente la metodología de enseñanza propuesta en los programas de actividades desarrollados con la considerada habitual.

Introducción

A lo largo de estos días se han presentado y debatido un programa de actividades relativo a una unidad didáctica que trata de concretar una orientación de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual, metodológico y actitudinal a la que denominamos enseñanza por investigación. A continuación solicitamos una valoración de estas propuestas en relación con la enseñanza habitual de las ciencias (por transmisión de conocimientos ya elaborados). En concreto se trata de calificar de 0 a 10 los siguientes aspectos:

	<u>Metodología habitual</u>	<u>Metodología propuesta</u>
1. En relación a la introducción de conceptos, teorías, etc...		
Atención prestada a las ideas previas de los alumnos	()	()
Exige la reflexión cualitativa sobre los conceptos	()	()
Facilita la comprensión de los conceptos	()	()
Posibilita un aprendizaje más significativo	()	()
Permite detectar errores conceptuales y/o metodológicos	()	()
Es capaz de reducir los errores conceptuales y/o metodológicos	()	()
2. En relación a la introducción de aspectos metodológicos En que medida el desarrollo de los temas puede:		
Favorecer la participación de los alumnos	()	()
Favorecer la atención y dedicación de los alumnos en clase	()	()
Habituar a reflexionar antes de intentar abordar los problemas	()	()
Permite adquirir nuevas formas de trabajar y pensar	()	()
Facilita que puedan emitir hipótesis para solucionar problemas	()	()
Facilita el manejo y visualización de modelos	()	()
Favorece la realización de diseños de montajes experimentales	()	()
Habitual a interpretar resultados	()	()
3. En relación a la introducción de aspectos actitudinales		
Aumentar el interés del alumnado por la ciencia	()	()
Introducir el planteamiento de nuevas preguntas	()	()
Producir autoconfianza en el alumnado	()	()
Mayor satisfacción de los estudiantes en clase	()	()
Favorecer la creatividad	()	()
Favorecer el interés del profesorado en tareas de investigación-acción	()	()

4. Señalar aquellos aspectos que como profesor o profesora has encontrado más relevantes en el desarrollo del tema en forma de programa de actividades

5. Valora globalmente de 0 a 10 la validez del modelo propuesto en relación a la enseñanza habitual

D.22. Entrevista para conocer la opinión de profesores que aceptaron una formación “por inmersión”.

El último de los diseños consistió en obtener una evaluación cualitativa del método por dos profesores que pudiesen ser orientados personalmente mediante la realización de tutorías específicas. Se escogieron dos perfiles muy diferentes: Uno correspondiente a un profesor con mucha experiencia y otro a una profesora que estuviese en el llamado período de inducción en su formación de enseñante (Dumas Carré, Furió y Garret 1992); es decir, en sus dos primeros años de enseñante. Para el primer caso, se autoproponió un profesor del C.P. “Rodríguez Fornos” de Valencia con más de treinta años de experiencia, y para el segundo una profesora del C. “Sta. Magdalena Sofia” de Valencia, con sólo dos años de experiencia, ambos eran participantes en uno de los cursos de formación de 20 h sobre la Didáctica de las Ciencias.

La tutorización fue diferente. En el primero de los casos el investigador era el que impartía la clase y el profesor asistía a todas ellas observando y consultando, cuantas veces lo consideraba oportuno. Dado que este profesor tenía dos grupos más del mismo nivel (8º de EGB) él aplicaba la misma metodología en ellas; es decir, que la tutorización correspondía a una formación tipo “espejo”

(Schön 1992). En el segundo caso, la profesora impartía sus clases si bien, previamente, se discutían todas las actividades del programa realizando cuantas apreciaciones se consideraban convenientes.

Al finalizar el curso se les presentó un cuestionario para que respondiesen de forma abierta y por escrito. El cuestionario presentado es el del documento-20.

DOCUMENTO-20 . Cuestionario abierto dirigido a los dos profesores que aplicaron los programas de actividades con ayuda de tutorías personalizada.

Durante estos últimos meses has podido observar una nueva forma de abordar el estudio de las Ciencias, en particular de la Química, diferente a las que conocías. Estamos desarrollando una investigación que nos permita conocer si ésta mejora o no la que convencionalmente se viene realizando en el aula. Por ello te solicitamos nos des tus respuestas a las cuestiones que te planteamos. Dado el carácter de la investigación “te rogamos encarecidamente que, por favor, respondas de forma totalmente sinceras”.

1. ¿Cuáles fueron los motivos por los que solicitaste la asesoría pedagógica?
2. ¿Qué expectativas tenías respecto de la ayuda solicitada y en qué medida se vieron confirmadas o no después de tu experiencia?
3. Describe brevemente en qué consistió el plan de trabajo de la asesoría.
4. Haz una valoración de tu experiencia respecto a esta nueva manera de enseñar química (características que te han llamado la atención, cambios respecto a la enseñanza habitual, etc.). En particular, indica ventajas e inconvenientes que encuentras en la metodología propuesta.
5. La vivencia de este nuevo método de enseñar química te ha cambiado la visión de cómo aprenden tus alumnos? En caso afirmativo describe el cambio sufrido.
6. ¿En qué medida esta experiencia te ha llevado a criticar alguna de las ideas, creencias, actitudes o comportamientos en tu trabajo de profesor? ¿Cuáles?
7. ¿Cuáles son los principales impedimentos o dificultades que tiene un maestro o maestra que desea mejorar su forma de enseñar Ciencias?

Muchas gracias por tu colaboración

A continuación, tal como se hizo en el capítulo IV, transcribimos unos cuadros sintéticos donde se recoge el resumen de los diseños programados para contrastar esta segunda hipótesis.

Consecuencias contrastables de cada una de las hipótesis derivadas	Diseños programados
<p>E. Posibilidad de diseñar y aplicar en el aula un microcurrículo sobre la naturaleza corpuscular de la materia en la secundaria.</p> <p>E.1. Posibilidad de elaborar dos microcurrículos de nivel diferente en la secundaria.</p> <p>E.2. Aplicación del microcurrículo en el aula.</p>	<p>D.14. Presentación de material escrito consistente en dos programas de actividades correspondientes a los dos niveles de la Secundaria.</p> <p>D.15. Grabación en video-tape de dos sesiones con alumnado de 2° de BUP en el que se muestra cómo éstos son capaces de “construir” el modelo cinético de los gases. (curso 1988/89).</p>
<p>F. Mejoría en el aprendizaje del alumnado instruidos según estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje por investigación.</p> <p>F.1. El aprendizaje del alumnado que sigue los programas de actividades confeccionados obtienen un aprendizaje más significativo.</p>	<p>D.16. Comparación entre el grupo experimental de 2° de BUP y la muestra del diseño de las contestaciones al cuestionario del documento- 1. (curso 1988/89)</p> <p>D.17. Comprobación del cambio de ideas del grupo experimental de 8° de EGB al evaluar las respuestas dadas antes y después de desarrollar en el aula el programa de actividades del anexo-1 8docu,emto-13) . (curso 1992/93).</p>

F.3. Este alumnado muestra actitudes más positivas hacia el aprendizaje de las Ciencias.

D.18. Comparación de las respuestas dadas a un ejercicio con enunciado poco familiar entre el grupo experimental de 2º de BUP y alumnos de niveles superiores.

D.19. Comparación de las respuestas emitidas a una cuestión relacionada con la conservación de la masa, en procesos con formación de gases, entre un grupo de alumnos instruidos con el programa de actividades del anexo-2 (159 estudiantes) y otros instruidos con estrategias convencionales (195 estudiantes).

D.20. Entrevista a cuatro alumnos de 2º de BUP del grupo experimental en el que un profesor externo a la experiencia les pregunta aspectos relacionados con la metodología de la clase. (curso 1988/89)

D.21. Cuestionario que cumplimentaron el alumnado experimental de 8º de EGB referente a aspectos sobre su satisfacción en la forma de aprender la Química. (curso 1992/93).

D.22. Cuestionario similar al del diseño anterior pero dirigido a los estudiantes que no han sido enseñados por el profesor investigador pero sí por otros que han seguido estrategias basadas en el aprendizaje por investigación (730 alumnos y

	alumnas) y comparándolo con otros que no han seguido estas estrategias (134 alumnos y alumnas).
G. El profesorado al que se le presente el modelo de enseñanza propuesto lo valora positivamente.	<p>D.23. Cuestionario para evaluar la opinión de profesores y profesoras asistentes a un curso de formación y que se comprometieron a experimentar los programas de actividades (27 profesores y profesoras de EGB) (curso (1989/90).</p> <p>D.24. Cuestionario abierto formulado por un profesor y profesora de EGB que aceptaron ayuda a través de tutorías personalizadas. (curso 1992/93).</p>

CAPÍTULO VII

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS DISEÑOS PROGRAMADOS PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS PRINCIPAL.

La segunda hipótesis de este trabajo supone que se producirá una mejora en el aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia al sustituir la enseñanza convencional basada en la transmisión verbal de conocimientos previamente elaborados por otras metodologías basadas en el aprendizaje por investigación. Tal como se ha hecho en la primera hipótesis, esta segunda se contrastará mediante la realización de una diversidad de diseños todos ellos convergentes. Estos diseños se han planificado a partir de las tres hipótesis derivadas extraídas de la segunda hipótesis principal. Recordemos que la primera de ellas mencionaba la posibilidad de elaborar y aplicar en el aula la metodología propuesta; la segunda, se refería a la mejora, en los tipos de aprendizaje logrados, tanto a nivel de conceptos como de actitudes; mientras la tercera destacaba la valoración positiva del método por parte de aquel profesorado, que voluntariamente participa en cursos de formación donde se ha reflexionado, críticamente, sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias.

Así pues, el desarrollo de este capítulo se dividirá en tres apartados para presentar y analizar los resultados obtenidos en cada uno de los diseños empleados para contrastar las tres hipótesis derivadas de la segunda hipótesis principal.

7.1. ¿ES POSIBLE DESARROLLAR Y APLICAR UN MICROCURRÍCULO DE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA A TRAVÉS DEL APRENDIZAJE POR INVESTIGACIÓN?

Recordemos que la contrastación de esta primera hipótesis derivada del cumplimiento de la H.2, según la cual es posible diseñar, desarrollar y aplicar en el aula un microcurrículo para enseñar la naturaleza corpuscular de la materia basado en el aprendizaje por investigación consta de dos diseños. El primero de ellos se ha dirigido a la preparación del microcurrículo, en los dos niveles educativos en los que se desarrolla esta investigación y el segundo a mostrar y analizar, mediante los registros oportunos, el modo en que se desarrolla en el aula la aplicación de los diseños anteriores.

7.1.1. Resultados encontrados en la concreción de los programas de actividades.

La concreción de los instrumentos didácticos necesarios para aplicar en el aula el modelo citado se basa, como ya se ha mencionado, en la confección de dos programas de actividades cada uno de ellos dirigidos a los dos niveles en los que se encuentra distribuido la Educación Secundaria Obligatoria y que por edad corresponden a los que en el sistema educativo anterior eran segunda etapa de EGB (8º) y BUP (2º). Se ha optado por una secuenciación de contenidos basados en un diseño en espiral del currículo, de manera que en el segundo nivel se revisa y se profundiza cuantitativamente en algunos de los conceptos tratados en el nivel anterior.

En general, el primer nivel tiene como objetivo básico lograr que los alumnos dominen cualitativamente los aspectos macroscópicos correspondientes a las propiedades de la materia, especialmente los que se refieren al estado gaseoso, lo que requiere conocer las propiedades e interpretarlas a través de un

modelo elemental corpuscular de la materia; mientras que en el segundo se pretende partir del modelo de gas para profundizar en los aspectos cuantitativos que conduzcan a las leyes de los gases.

El programa de actividades correspondiente al primer ciclo (12-14) va dirigido a que los estudiantes sean capaces de encontrar un modelo que, de forma unitaria, nos explique el comportamiento de toda la materia, sea cual sea el estado físico en el que se encuentra (modelo corpuscular de la materia). Para ello y conociendo las dificultades que tienen los estudiantes para aceptar la materialidad de los gases se plantea una estrategia donde previamente se estudian las propiedades generales de la “auténtica” materia para los estudiantes; es decir los sólidos y líquidos, con el objetivo esencial de mostrar que los gases son tan “materiales” como los anteriores estados. O sea que tienen masa, peso, volumen, que se dilatan y se contraen térmicamente, etc., como cualquier sólido y líquido. Ahora bien, en este estudio de propiedades materiales aparece una asimetría que hace que nos fijemos en los gases para idear un modelo unitario de materia: el comportamiento de los gases es más simple y general que el de los sólidos y líquidos. Esta asimetría se puede ver en las siguientes propiedades:

- i) Mientras todos los gases son igualmente “elásticos”, los sólidos y líquidos resultan prácticamente incompresibles.
- ii) Mientras hay líquidos que fácilmente se mezclan, hay otros que no lo hacen y, sin embargo, todos los gases se mezclan fácilmente porque ocupan todo el volumen del recipiente.

En el segundo nivel se vuelven a recordar las propiedades y, de nuevo, se revisa el modelo. La profundización se realiza al pasar a tratamientos cuantitativos que conduzcan a la ecuación general de los gases. El proceso de

aprendizaje que se sigue tiene como objetivo esencial la familiarización del estudiante con aspectos esenciales de la metodología científica. El modelo cinético de los gases es el cuerpo de conocimientos a partir del cual se emiten hipótesis cuantitativas que son posteriormente contrastadas mediante el análisis de los resultados correspondientes a experiencias previamente diseñadas. La propuesta comienza recordando el concepto de presión según el modelo, lo cual supone relacionar ésta con el número de choques de las partículas sobre las paredes. A partir de esta idea se relaciona la presión con el volumen (ley de Boyle) y se realizan experiencias para contrastar la hipótesis cuantitativa que relaciona ambas variables. A continuación, se estudia la relación entre P y T y se ofrece una tabla de posibles resultados para que la analicen y contrasten. Las dos relaciones anteriores conducen a la ecuación que liga las cuatro variables $f(P, V, T, N) = 0$. La realización de ejercicios y problemas numéricos ayudan a dominar las expresiones matemáticas deducidas en el proceso anterior.

En los anexos I y II se exponen los programas de actividades elaborados para su aplicación en grupos experimentales pertenecientes a los dos niveles educativos (segunda etapa de EGB y segundo de Bachillerato, respectivamente).

7.1.2. Ejemplo de registro realizado para contrastar la viabilidad del método en el aula.

Este apartado tiene como objetivo mostrar que es posible aplicar el microcurrículo diseñado y comentado en el apartado anterior, en un aula organizada en pequeños grupos como preconiza el aprendizaje por investigación. Para ello se han realizado grabaciones en video-tape que permiten mostrar cómo poco a poco los grupos de alumnos, ayudados por el profesor, (re)construyen un modelo cinético elemental para los gases que permite explicar las propiedades generales y específicas de la materia gaseosa.

A título de ejemplo se han transcrito literalmente algunos de los momentos transcurridos en el aula. En concreto hemos seleccionado la parte que hace referencia al estudio de las propiedades macroscópicas de los gases.

Comienza la secuencia con una pregunta del programa de actividades:

Profesor: Indicar cuáles de las propiedades siguientes son comunes a toda la materia: Color, volumen, masa, olor y sabor.

(Tras discutir en grupos todos coinciden en que la masa y el volumen son las únicas propiedades comunes.)

Profesor: ¿El aire tiene masa?

(Inmediatamente se produce un murmullo entre los propios estudiantes lo que es aprovechado para dejar que entre ellos se expresen.)

En un grupo un alumno trata de convencer a sus compañeros diciendo.

Elías: *“Mira tú coges un globo vacío y lo pesas y, por ejemplo, pesa 2g después lo hinchas y pesa 2 g y medio”.*

Profesor: Describir alguna experiencia que permita mostrar que el aire y, en general, los gases tienen masa y, por tanto, pesan.

(Tras esperar un tiempo a que discutan los grupos se pasa a la presentación de sus conclusiones a la clase colectivamente interviniendo el profesor como moderador y reformulador de los mismos).

Grupo1. *Sí pesan, pero no sabemos mostrarlo.*

Grupo2. *Mediante una transformación de un líquido en gas.*

Grupo3. *Se pesa un globo vacío, después se hincha y se vuelve a pesar.*

Profesor: ¿Alguien ha comprobado lo que pesa un balón, o mejor un neumático vacío y lleno de aire? ¿Hay diferencias?

La pregunta conduce a la aparente aceptación sobre el peso del aire, por parte del alumnado.

A continuación y antes de pasar a otra cuestión, el profesor hace una intervención sintetizadora en la que se aclara que los gases, como los sólidos y líquidos tienen masa y peso.

Profesor: Señalar las propiedades diferenciadores de los gases respecto a los sólidos y líquidos.

(Tras la discusión en grupos en la que se observa una participación generalizada, el profesor, pasa a escuchar respuestas.)

Grupo 5. *No se pueden coger con la mano.*

Grupo 6. *Tienen volumen variable.*

Grupo 3. *La densidad es menor. Son invisibles.*

Enseguida se oyen voces de desaprobación y un alumno señala que “el humo es blanco”, el autor de la afirmación anterior dice que “el humo tiene color porque tiene partículas”. Otro alumno dice ¿y los gases, no? Ante esta cuestión aquel reconsidera su idea y cambia de opinión aceptando que hay gases que no son invisibles.

(Después el profesor interviene poniendo ejemplos de gases coloreados para aclarar la situación.)

Grupo 4. *Se elevan. Se dilatan.*

Una alumna dice que se dilatan porque varían de volumen ya que ocupan todo el del recipiente. (Ante esa situación el profesor pregunta qué se entiende por dilatación y una alumna responde de forma inmediata: “La variación del volumen con la temperatura”.)

Profesor: *Alguna otra propiedad.*

Alumno: *El enfriarlo se hace más pequeño.*

El profesor interviene para aclararle que es la misma propiedad que la dilatación según la definición anteriormente expresada por su compañera.

El profesor al comprobar que la difusibilidad no es nombrada por ninguno propuso la siguiente cuestión.

Profesor: *Describir lo que sucede cuando una habitación llena de humo se abre.*

La actividad es contestada correctamente por todos los equipos y el profesor aprovecha para definir la difusibilidad gaseosa.

Profesor: *Indicar lo que entendéis por compresibilidad y señalar si existe diferencias entre los gases y los sólidos o líquidos.*

Al final de esta actividad el profesor recapitula todo lo señalado y apunta en la pizarra que las propiedades características del comportamiento gaseoso respecto al sólido y líquido se encuentra en la diferencia del comportamiento respecto a la compresibilidad, dilatación y difusibilidad. Propiedades que, a continuación, pasarán a estudiarse.

La descripción permite comprobar cómo los estudiantes tienen ideas previas que se van reafirmando o reestructurando. Para ello se exige, tanto a los estudiantes como al profesor, que las argumenten debidamente. La organización en grupos muestra el nivel de participación, necesaria, por otra parte, en una enseñanza que pretende lograr que los estudiantes aprendan a través de replicar investigaciones para propiciar, de esa forma, un aprendizaje en donde los conceptos aprendidos se incorporan al cuerpo de conocimientos que los alumnos y las alumnas poseen convirtiéndose, de esa forma, en significativos, tal como sucede en la investigación.

En definitiva, el análisis de las transcripciones de la grabación en videotape de las dos clases que se necesitaron para llegar a presentar el modelo de gas, como hipótesis necesarias para explicar las propiedades macroscópicas, permite vislumbrar cómo tiene lugar el proceso de aprendizaje cooperativo donde los estudiantes, organizados en pequeños grupos, han podido llegar a construir un modelo cinético elemental de los gases gracias a la ayuda adecuada proporcionada por el profesor en momentos cruciales de construcción de conocimientos.

7.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS AL CONTRASTAR LA EFICACIA DEL MÉTODO.

La contrastación de la segunda hipótesis derivada de H-2 supone mostrar que los estudiantes logran un mejor aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia al aplicarles en el aula la metodología de enseñanza por investigación. Una parte de los diseños utilizados se basan en comparar las respuestas dadas a los mismos cuestionarios que fueron utilizados para contrastar la falta de un aprendizaje significativo, por el grupo experimental de 8º de EGB y de 2º de BUP.

7.2.1. Los alumnos del 2º de BUP experimental asumen mejor la materialidad de los gases.

Las dificultades en asumir la materialidad de los gases fueron puestas de manifiesto al analizar los resultados obtenidos al responder los estudiantes de secundaria al documento-2 en el que se preguntaba sobre la conservación del peso en diferentes cambios químicos y físicos. En ellos, la desaparición de materia corpórea -debido a la formación de gases- aumentaba de unos a otros. La comprobación de que según aumentaba esta desaparición, el porcentaje de estudiantes que respondían erróneamente aumentaba, permitió afirmar que la dificultad estaba en la aceptación de la materialidad de los gases. Recordemos que los procesos incluidos en los ítems eran: disolución de azúcar en agua, disolución de una aspirina efervescente en agua, combustión de un trozo de papel y la vaporización de una cantidad de agua contenida en un recipiente cerrado.

En la tabla 7.1. se presentaban los resultados obtenidos al aplicar el cuestionario del documento-2 al grupo experimental de 2º de BUP del instituto “Juan de Garay” de Valencia. Al mismo tiempo y para facilitar el análisis se han incluido los resultados obtenidos por los grupos de control que se han presentado anteriormente en la tabla 4.2. y se han representado en la gráfica nº 11. Sólo se han utilizado los resultados de los del mismo o superior nivel.

Tabla 7.1: Porcentaje de respuestas correctas al cuestionario del documento-2 sobre la conservación de la masa en los procesos físicos y químicos en los que intervienen gases.

Título y número del ítem	Porcentaje de respuestas correctas			
	2° de BUP (N = 138)	2° EXPER (N = 38)	3° BUP (N = 211)	COU (N = 199)
1. Disolución de azúcar	77	80	77	81
2. Aspirina efervescente	56	90	65	68
3. Combustión del papel	33	58	53	56
4. Vaporización	29	42	44	46

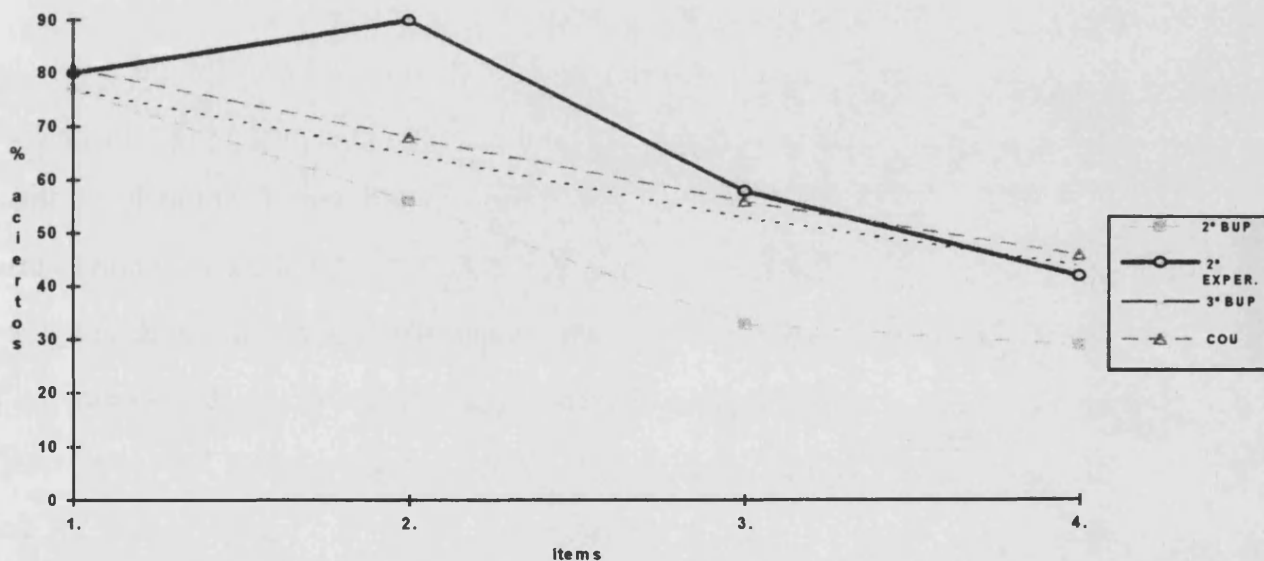


Fig. 11. Comparación entre las respuestas dadas por grupos de control y el experimental sobre la conservación de la masa en procesos con gases.

El análisis de estos resultados conducen a considerar:

1°. Al comparar los resultados del mismo nivel - 2° de BUP- se observa una mejora significativa favorable a los estudiantes del grupo experimental en todos los temas, a excepción del correspondiente a la disolución de azúcar que es el utilizado como referente.

2°. La similitud de resultados en el ítem correspondiente a la disolución de azúcar en agua, demuestra que las principales dificultades de aprendizaje se encuentran fundamentalmente en los procesos en los que se produce desaparición de materia corpórea, por ese motivo no existen diferencias entre el grupo experimental y los de control de cualquier nivel.

3°. Al comparar los resultados del grupo experimental con los de nivel superior (3° de BUP y COU) se observa que en el ítem de la aspirina efervescente existen diferencias significativas favorable al grupo experimental, como lo confirma los valores de la χ^2 , 6,28 al compararlo con el COU y 7,9 al hacerlo con el grupo de 3°. Mientras en los otros dos ítems en los que se produce una pérdida aparente de materia corpórea no aparecen diferencias significativas. En consecuencia, puede afirmarse que los estudiantes del grupo experimental han adelantado su aprendizaje respecto a los instruidos con enseñanzas tradicionales. Es decir, el grupo de 2° de BUP tratado parece ser una muestra escolar extraída de cursos superiores (3° de BUP o COU) al contestar al cuestionario 2.

7.2.2. El alumnado del grupo de 8º experimental asume el modelo de gas de forma más significativa que los de nivel superior.

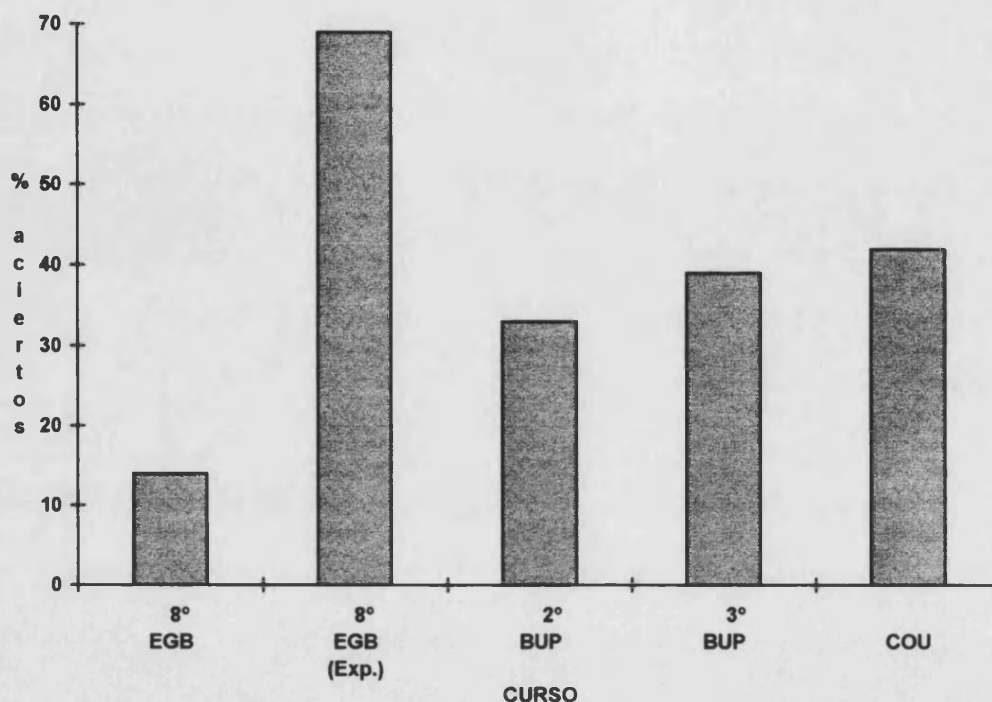
Para mostrar la mayor significatividad en el aprendizaje conseguido cuando se utiliza el aprendizaje por investigación, se ha utilizado la cuestión que se propuso como aplicación del principio de Pascal y cuyos resultados por grupos de control ya fueron comentados en el capítulo IV. Este principio no se había impartido explícitamente en el programa de actividades; pero, si se asume el movimiento de las partículas sin direcciones privilegiadas, se está aceptando, de forma implícita, el principio. Por ello la cuestión es válida para evaluar la significatividad del aprendizaje. La cuestión del doc-12 utilizado, planteaba la posibilidad de saltar tres tapones, situados en posiciones diferentes, al producirse la vaporización de una cantidad de agua contenida en un recipiente.

Los alumnos que respondiesen aplicando lo aprendido en clase contestarán de forma diferente a aquellos cuyas respuestas están guiadas por la asociación de ideas entre la falta de peso de los gases y su flotabilidad. Los resultados se muestran en la tabla-7.4.

Tabla 7.2. Porcentaje de respuestas correctas a la cuestión sobre el principio de Pascal según el curso.

Nivel	Porcentaje respuestas correctas
8º EGB (N= 175)	14
8º EGB (Exp.) (N = 34)	69
2º BUP (N = 138)	33
3º BUP (N = 211)	39
COU (N = 199)	42

La gráfica 12 muestra comparativamente los resultados de este ítem.



Graf. 12: Comparación de las respuestas emitidas por el alumnado a la cuestión del Principio de Pascal.

Al analizar los resultados comprobamos que:

1º La columna correspondiente al grupo experimental viene a confirmar que una gran mayoría del alumnado ha aprendido que las partículas de los gases se mueven sin direcciones privilegiadas y responden según lo aprendido en el aula.

2º. Comparando los resultados se aprecia una clara mejora en el grupo experimental. Esta diferencia, tan acusada, pone de manifiesto que la falta de un aprendizaje significativo, en la concepción del modelo de gas, es debido a la metodología usual que no tiene en cuenta estas dificultades; Pues, los resultados del 8º experimental vienen a mostrar que un tratamiento adecuado permite entender, en estas edades, que los gases se mueven en todas direcciones, en

contra de la “apariencia visual” en los que el ascenso vertical parece ser la dirección privilegiada.

4°. Es decir, los estudiantes que han sido enseñados con el programa de actividades mejoran los resultados respecto al dominio del modelo de gases, incluso de aquellos que les aventajan en dos cursos.

7.2.3. Resultados del diseño pretest y postest para medir el progreso del grupo experimental de 8° de EGB.

El diseño preparado para ver cómo los estudiantes de 8° de EGB que siguen estrategias basadas en el aprendizaje por investigación, cambian conceptualmente sus conocimientos del tema, consistía en pasar primero un pretest y después un postest.

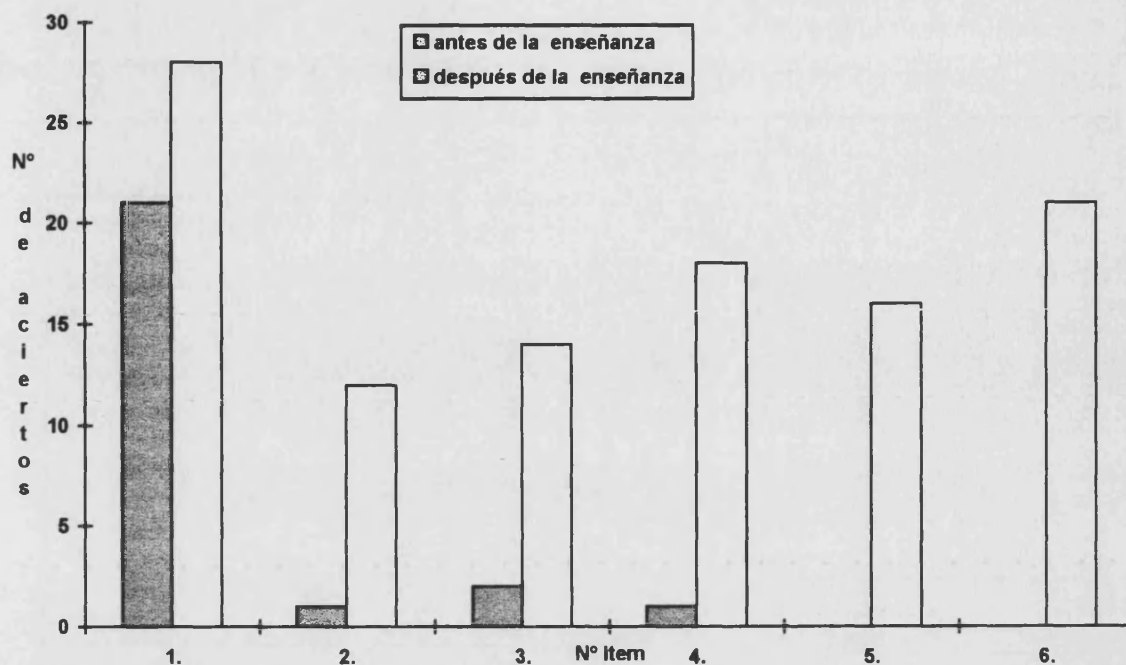
Los items propuestos pretendían estudiar las ideas que sobre el modelo de gas tenían los estudiantes, estos items hacían referencia a propiedades macroscópicas como la masa, compresibilidad, difusibilidad, dilatación y contracción de los gases y se les pedía que diesen una interpretación de ellas. Se partía de la hipótesis de que la mayoría de estudiantes no utilizarían el modelo para justificarlas, a pesar de que la segunda cuestión que se les planteó, antes de las propiedades, era precisamente que dibujasen el modelo.

Para poder analizar mejor los resultados se han presentado dos tabla y una gráfica. La tabla 7-3, presenta en la primera columna el número de estudiantes que responden correctamente a las cuestiones antes de comenzar la enseñanza del tema, mientras que la segunda son aquellos que lo hacen después.

Tabla 7.3. Número de estudiantes que responden correctamente antes y después de la instrucción a las cuestiones planteadas en el documento-.

Contenido del ítem	Número de respuestas correctas (N = 32)	
	antes de la enseñanza	después de la enseñanza
Desequilibrio producido al eliminar el aire de uno de los dos globos de balanza	21	28
Explicación de la compresibilidad de los gases	1	12
Explicación de la difusibilidad de los gases	2	14
Explicación de la dilatación de los gases	1	18
Explicación de la contracción de los gases	0	16
Explicitación del modelo cinético para los gases	0	21

El análisis de las respuestas emitidas antes de la instrucción permiten comprobar cómo los alumnos comenzaron la enseñanza del tema con ideas sobre la masa de los gases pero no las tenían con respecto a la interpretación a través de modelos. La gráfica 13 muestra la evolución de las ideas experimentada como consecuencia de la enseñanza recibida.



Graf. 13: Comparación de las ideas del alumnado antes y después de la instrucción.

Ahora bien, dado que uno de los objetivos de la enseñanza por investigación es facilitar el cambio conceptual se ha preparado una segunda tabla (tabla 7.3) que muestra el porcentaje de alumnos que cambian sus ideas iniciales. Dado que todos aquellos que respondieron de forma correcta al comienzo del tema continuaban haciéndolo después no se les ha contabilizado pues no interesan para el objetivo perseguido. Por tanto la columna tercera, en la que figura el porcentaje de alumnos que han modificado sus ideas después de la instrucción, está calculado tomando como base el número de estudiantes que comienzan respondiendo erróneamente y, de entre ellos, se valora aquellos que después de la instrucción modifican sus propias respuestas haciéndolo, en este caso, de forma correcta

Tabla 7.4 Porcentaje de alumnos que cambian de ideas después de la instrucción. (N = 32)

Propiedad interpretada	Nº respuestas erróneas antes	Nº respuestas correctas después	% respecto a los errores iniciales
conservación de la masa	11	6	54
modelo	32	21	65
compresibilidad	31	11	35
difusibilidad	30	12	40
dilatación	31	17	55
contracción	32	16	50

Estos resultados conducen a las siguientes consideraciones:

1°. Al comenzar el estudio del tema, los estudiantes no disponen de un modelo que les permita justificar, de alguna manera, las propiedades macroscópicas, a pesar, de que en los dos últimos ítems, se les dice que “la materia está formada por partículas ...” En las respuestas a estos ítems se comprueba que aquellos que mencionan las partículas lo hacen atribuyéndoles propiedades macroscópicas. Así, la totalidad de respuestas (N = 32), relativas a la justificación de la disminución de volumen al introducir un globo en la nevera, mencionan que : “las partículas se enfrían y disminuyen de volumen” e incluso seis de ellas mencionan textualmente que “las partículas se congelan”.

2°. De forma resumida podemos señalar que antes de comenzar el estudio del tema los estudiantes consideran que los gases tienen peso (si bien, menos que los

líquidos o los sólidos) y ocupan el volumen de la vasija que lo contiene pero presentan mayoritariamente una imagen continua de la materia (Nussbaum 1983).

3°. Respecto al modelo de gas que manejan, se contrasta que sólo uno de los estudiantes dibuja partículas, mientras la mayoría (75%) dibuja sombreando todo. El resto (20%) no dibujan nada pero escriben que el gas tiene la forma del globo. Por el contrario, después de la instrucción el 65% de los estudiantes asumen el modelo basado en el movimiento caótico de las partículas.

4°. La autocorrección de los estudiantes respecto de sus propias respuestas viene a señalar que más de la mitad de ellos han aprendido de forma significativa el modelo cinético de gases. Las diferencias encontradas en las respuestas a los items correspondientes a las explicaciones sobre la compresibilidad y la difusibilidad frente a las de la dilatación y a la contracción pueden ser debidas al diferente enunciado de las preguntas. En las primeras no se especifica la palabra partícula mientras sí contaba en las segundas, de ahí que algunos no incluyan un modelo corpuscular en el momento de justificar la compresibilidad y expansibilidad.

5°. Al iniciar el estudio ninguno de los 32 alumnos fue capaz de describir el modelo cinético mientras que al final 21 consiguen describir el modelo de forma coherente lo que supone un porcentaje importante, teniendo en cuenta la importancia que este concepto tendrá para el desarrollo de estudios posteriores.

6°. De forma general, puede decirse que antes de comenzar el tema los alumnos y alumnas tienen referentes a aspectos macroscópicos pero no sabían interpretarlos submicroscópicamente, a pesar de que el profesor de la materia informó que en cursos anteriores habían estudiado el modelo de gas.

7.2.4. La mejora del grupo experimental en la resolución de ejercicios de elevada dificultad conceptual.

En los capítulos anteriores ya se comentó las dificultades que tenía resolver ejercicios de relación entre conceptos macroscópicos y microscópicos (Lijnfe 1990). El ejercicio consistía en resolver una cuestión-problemas, que se suponían de alta demanda cognitiva puesto que se tenía que relacionar el volumen como propiedad macroscópica del sistema gaseoso con la cantidad de partículas perteneciente al mundo submicroscópico. Los resultados de la muestra de alumnos del CAP evidenciaban la dificultad del ejercicio. Recordemos que el documento era el siguiente:

100 mL del gas fluoruro de hidrógeno (HF) se combinan con 50 mL de difluoruro de dinitrógeno (N_2F_2), también gaseoso, y se forman 100 mL de un gas único. ¿Cuál es la fórmula de la molécula del gas obtenido? Explicar, con detalle, la estrategia utilizada en la resolución.

Una vez analizadas las respuestas del grupo experimental se comprobó que sólo 9 de los 36 (25%) encuestados realizaron correctamente el ejercicio. Ahora bien, la dificultad manifestada anteriormente obliga a comparar estos resultados con los obtenidos por los alumnos utilizados como control, en la primera hipótesis. La tabla siguiente muestra ambos resultados para poder analizarlos comparativamente.

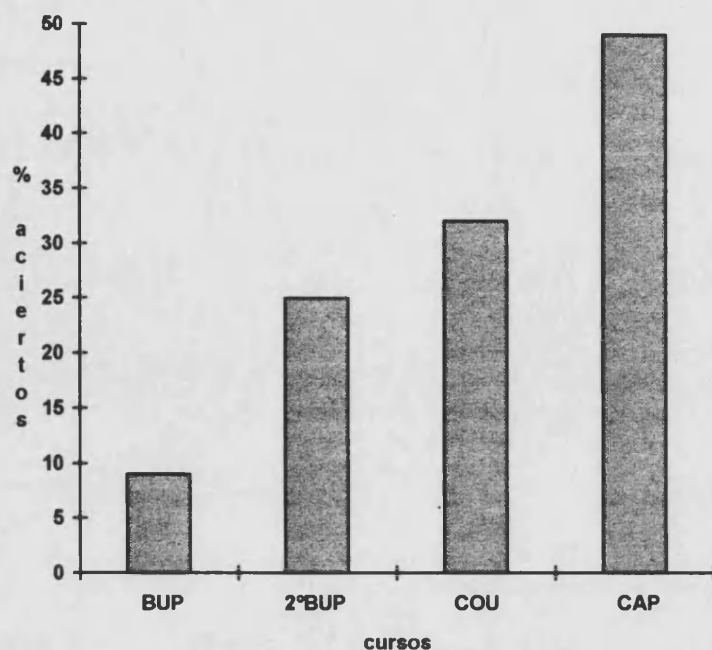
Tabla 7.5.: Porcentaje de respuestas correctas al ejercicio del documento-10 en el que se plantea averiguar la fórmula de un compuesto a partir de las relaciones existentes entre volúmenes de gases que reaccionan.

curso	% respuest correctas	% respuestas blanco
3° BUP (N = 57)	9	47
2°BUP Ex(N= 36)	25	19
COU (N= 129)	32	29
CAP (N = 76)	49	22

El análisis comparativo lo hacemos tras calcular el valor de la χ^2

Curso	valor de χ^2
3° BUP	3,37
COU	0,33
CAP	4,78

estos valores muestran que si bien hay diferencias con la muestra de COU, a favor de éstos, los resultados del grupo experimental pertenecen a la misma población que los de cursos superiores a pesar de que en COU los estudiantes encuestados han estudiado la hipótesis de Avogadro los tres últimos años. Es decir, una vez más viene a confirmarse que los alumnos instruidos a través del programa de actividades se corresponden con muestras de alumnos pertenecientes a grupos de nivel superior, como se observa mejor en la gráfica



Graf. 14: Porcentaje de respuestas correctas al ejercicio del documento 5.

Por otra parte, el análisis cualitativo de los razonamientos expuestos, tanto en las respuestas con un final correcto, como en las incorrectas, por los grupos experimental y de control, muestran también diferencias acusadas que se justifican en base al énfasis realizado sobre el cambio metodológico en el proceso de aprendizaje por investigación. Como muestra de esta diferencia encontramos que:

- a) Las respuestas correctas del grupo experimental presentan una justificación mucho más completa que van desde la realización de un dibujo, en el que aparecen un número de partículas representativas de la relación volumétrica junto a una explicación del por qué proponen la solución.
- b) La mayoría de las respuestas correctas del grupo de control presentan la ecuación estequiométrica y sin explicaciones del porqué presentan dicha

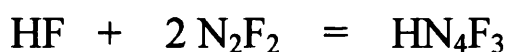
solución. Un ejemplo de respuesta correcta prototípica del grupo de control es la siguiente:

Cuadro-1- Ejemplo tipo de las respuestas correctas de los alumnos de grupos de control



En cuanto a la tónica en las respuestas incorrectas del grupo de control y del grupo experimental es la misma. Es decir, siguen presentando diferencias cualitativas semejantes a las encontradas en las respuestas correctas. Así, mientras la mayoría de los estudiantes del grupo de control siguen sin aportar justificación a su respuesta, no ocurre lo mismo con las del grupo experimental. A continuación se presenta un ejemplo de respuesta incorrecta del grupo experimental:

Cuadro-2. Ejemplo tipo de respuesta incorrecta del grupo experimental.



“Al combinarse las partículas de los dos tipos se forma una partícula con la unión de los elementos que forman las partículas iniciales”

El error básico que cometen estos alumnos es que siguen sin tener claro el concepto de molécula en los compuestos y consideran que su estructura se forma mezclando los átomos de los elementos que lo forman. Obsérvese, sin embargo, que el uso de la relación directa entre el volumen y el número de partículas en estos estudiantes es correcto.

Finalmente, las grandes diferencias de porcentajes de respuestas en blanco entre grupos de control de 2º y 3º de BUP (el 50%) y el grupo experimental (19%) son indicativas del mayor abandono de aquellos ante la búsqueda de estrategias de resolución en situaciones desconocidas como la del problema. Esta tasa de abandono del grupo experimental de 2º de BUP es incluso menor que la de COU (29%) y prácticamente igual a la de los estudiantes del CAP (22%).

La dificultad en la resolución del ejercicio anterior condujo a proponer otro en el que, basándose en conceptos similares, pudiese ser más sencillo y poder, de esa forma, comprobar las posibles diferencias. Este ejercicio era el siguiente:

Dos litros de un gas formado por partículas de fórmula "A" reaccionan con otros dos litros de otro gas de fórmula "B", obteniéndose un único gas de fórmula "AB". ¿Qué volumen, en las mismas condiciones de presión y temperatura, ocupará el compuesto formado? Razona la respuesta.

La muestra utilizada estaba formada por el grupo experimental de 2º de BUP y como grupos de control se utilizaron, como en otras ocasiones, alumnos del mismo o superior nivel, en este caso de 2 y 3º de BUP y COU. La tabla-7.6. muestra los resultados obtenidos.

Tabla 7.6: Resultados obtenidos en las respuestas al documento-- a partir del cual se pretende que los alumnos averigüen el volumen final a partir de las fórmulas de las sustancias que reaccionan.

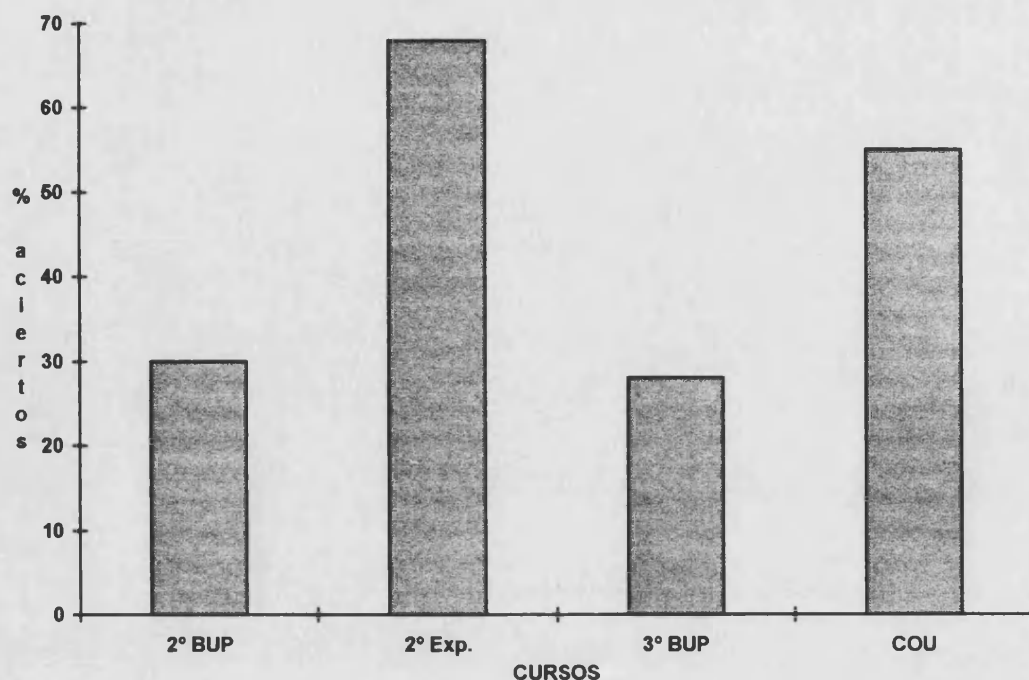
	Porcentaje de respuestas correctas (%)			
	2° BUP (N = 126)	2° Experim (N = 35)	3° BUP (N = 64)	COU (N = 40)
% respuesta final correcta	30	68	28	55
% respuestas en blanco	40	0	52	5

Los valores de χ^2 calculados al comparar con el grupo de 2° experimental fueron los siguientes:

Curso	valor de χ^2
2° BUP control	15,23
3° BUP	13,55
COU	0,91

Estos resultados vienen a confirmar los resultados anteriores en los que la muestra de 2° experimental son similares a los de COU pero diferentes, a favor del grupo experimental, tanto con los del mismo nivel como con los del curso siguiente de 3° BUP.

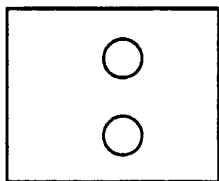
A continuación, la representación siguiente permite comparar gráficamente los resultados.



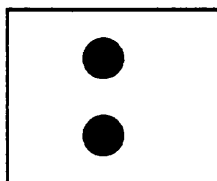
Graf. 7.5: Comparación entre el grupo experimental y los de control a las respuestas del documento 5.

Como en el ejercicio anterior, el análisis sobre las explicaciones a las respuestas emitidas permiten profundizar en el estudio sobre las destreza procedimentales de los dos tipos de muestras. Este análisis muestra cómo las estrategias o razonamientos empleados por el grupo experimental son mucho más ricos (mayor verbalización en la escritura y mayor expresividad plástica) y más completos y coherentes (relacionan directamente el volumen macroscópico con el número de partículas, magnitud submicroscópica) que los de los grupos de control. En efecto, de las **24** respuestas correctas del grupo experimental encontramos que **11** de ellas justifican las respuestas a través de la realización de representaciones gráficas en las que dibujan partículas cuyo número relacionan directamente con el volumen. El esquema más común que dibujan es el siguiente:

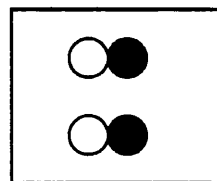
2 litros



2 litros



2 litros



Es decir colocando dos partículas para representar los dos litros, si bien, otros representan un mayor número de éstas pero con la proporción precisa; es decir, el mismo número de “bolas blancas” que “bolas negras”.

También comprobamos que 8 de las respuestas no realizan dibujo pero explicitan la relación entre las partículas y el volumen; un ejemplo de este tipo de respuesta es:

*“El volumen resultante serán de dos litros porque cada molécula estará formado por una partícula de **A** y otra de **B** entonces en el gas **AB** hay el mismo número de moléculas que en **A** y en **B**”.*

Otros citan textualmente a Avogadro, como:

“En las mismas condiciones de presión y temperatura el compuesto formado ocupará el mismo volumen porque si tienen el mismo número de partículas, según la teoría de Avogadro ocupa el mismo volumen.”

En cuanto a las 11 respuestas incorrectas del grupo experimental, 6 de ellas citan la relación de Avogadro, pero la aplican incorrectamente al considerar que las partículas del compuesto AB no son moléculas diatómicas sino átomos libres A y B. Un ejemplo de estas respuestas es la siguiente:

“El volumen del compuesto formado será el doble pues al estar en las mismas condiciones de presión y temperatura el volumen sólo depende del número de partículas y al haber más número de partículas el volumen será mayor”.

Otras respuestas incorrectas 4 (11%) responden sin utilizar ninguno de los conceptos supuestamente estudiados en el tema y la justificación se basa en el uso de un erróneo principio de conservación el volumen, como p.e:

“El volumen que ocupará será de 4 litros porque se unen dos gases y no pierden nada, su volumen será la suma de los volúmenes”.

Por el contrario, los resultados encontrados en el grupo de control son bastantes diferentes. En primer lugar se observa un aumento considerable de las respuestas en blanco en 2º y 3º de BUP (el 40 y 52%, respectivamente). Por otra parte, sólo el 10% de las respuestas en cada grupo, cuyo resultado numérico final es correcto, justifican las respuestas aludiendo a la relación entre las partículas y el volumen. La mayor parte estas respuestas lo hacen sin prácticamente justificación. Así algunos se limitan a escribir simplemente:

“ 2L A + 2L B -----> 2L AB “

Y, otros, acuden a citar fórmulas para justificarlos, como p.e.:

“El mismo volumen, pues se cumple las leyes indicadas en la fórmula $P.V/T = cte$ ”

En cuanto a las respuestas erróneas se encuentra que mayoritariamente dan como resultado 4 litros y lo justifican en base a respuestas del tipo:

“En las mismas condiciones ocuparán 4 litros ya que se suman $2 + 2$ ”, o bien “4 litros porque no puede desaparecer la masa y al tener las mismas condiciones de P y T la materia no puede cambiar”; etc.

Por tanto, el análisis global de las respuestas a este problema parece confirmar que los alumnos inmersos en el aprendizaje por investigación no sólo han progresado más en sus conocimientos conceptuales sino que además explicitan mejores formas de razonamiento procedimental o estratégico en sus respuestas.

7.2.5. Resultados en nuevos grupos experimentales de estudiantes cuya enseñanza les ha sido impartida por un profesorado formado en la implementación de programas de actividades.

Como ya se ha mencionado, en el capítulo anterior, el objetivo esencial de este trabajo es comprobar que el cambio metodológico propuesto mejora el aprendizaje, por lo que uno de los diseños que se ha propuesto era evaluar los resultados obtenidos entre los estudiantes procedentes de profesores y profesoras que voluntariamente habían aceptado aplicar, en el aula, la metodología propuesta a través de aplicar el programa de actividades mencionado.

Para comprobarlo se propusieron una cuestión de características similares a las que ya se habían utilizado anteriormente. La primera consistía en ver si aplicaban la conservación de la masa a un proceso como la combustión de un algodón en recipiente cerrado.

La muestra utilizada corresponde a estudiantes de 3º de BUP y la prueba se les pasa al comienzo del curso, cuando todavía no habían estudiado nada de Química por lo que las respuestas corresponde a lo aprendido durante el curso pasado. La clasificación entre los que pertenecen al grupo experimental o al de control dependían de si el profesor había, o no, utilizado los programas de actividades en el curso pasado. En concreto los alumnos experimentales

procedían de cinco profesores pertenecientes a 5 Institutos de las ciudades de Valencia, Castellón y Alicante. Todos ellos con experiencia en esta metodología y se encontraban implicados en un proyecto de innovación con el que se trataba de averiguar si realmente el método utilizado era o no eficaz.

La tabla-7.7 representa los resultados obtenidos en cada uno de los institutos. El grupo correspondiente a la columna de los alumnos experimentales son estudiantes que el curso pasado habían sido instruidos con los cinco profesores del proyecto mencionado, mientras que los de la columna de alumnos de control son estudiantes de los mismos institutos que habían tenido otros profesores que utilizaban metodologías convencionales.

Tabla-7.7. Porcentaje de estudiantes de grupos experimentales y de control que responden correctamente al ejercicio del documento-23

	Alum experimentales		Alumnos control	
	N	%	N	%
Profesor-1	19	84	34	52
Profesor-2	34	82	43	58
Profesor-3	39	69	-	-
Profesor-4	21	85	40	50
Profesor-5	30	83	58	41
TOTAL	143	80	175	50

La tabla muestra claramente la diferencia, pues mientras el porcentaje de respuestas correctas, en los alumnos y alumnas que habían seguido programas de actividades alcanza el 80%, en el caso de los que no lo habían hecho así, el porcentaje se reduce al 50%, lo que significa una apreciable mejora, que se ve confirmado por un valor de χ^2 de 19,86.

7.2.6. Resultados encontrados en los diseños para valorar las actitudes de los estudiantes.

La mejora del aprendizaje no sólo se ha de referir a los logros alcanzados por el estudiante en el dominio cognitivo, bien sea de conocimiento declarativo o procedimental, sino que también ha de suponer un avance positivo en el dominio afectivo de ahí que se hayan previsto diseños para ver en qué medida se logran mejoras actitudinales y, en particular, actitudes positivas hacia el aprendizaje de las Ciencias (Bell y Pearson 1991).

7.2.6. a. Resultados de la entrevista realizada a estudiantes de 2º de BUP del grupo experimental para averiguar su opinión respecto a la metodología utilizada en la enseñanza de la física y química.

Las características de la entrevista figura en el doc-16 y fue realizada a estudiantes del 2º de BUP cuyo profesor era el investigador. La selección, tal como se especificó en el capítulo de los diseños se realizó de forma aleatoria al extraer un número que permitió entrevistar a aquellos alumnos y alumnas cuyo número de orden en la clase acababa en 7.

A continuación se reproducen las respuestas dadas por los cuatro estudiantes que de forma individual fueron entrevistados.

Pregunta 1. ¿Cuál es tu opinión respecto al método de enseñanza empleada por el profesor de Física y Química comparada con la enseñanza de la misma disciplina recibida en anteriores cursos?

Andrés. Yo estoy contento, no me acordaba de nada de F y Q. Se ha ido aprendiendo de forma que no lo hemos memorizado sino que se ha aprendido pensando cómo deben descubrirse

Silvia. Bien aunque el profesor debería explicar más pues en el grupo cada uno dice lo que piensa y el profesor debería explicar después más.

Carmen. El método me parece bien porque no sólo tienes que saber las cosas de memoria sino que aprendes a razonarlo. Te ayuda a razonar.

Belén. El método me ha parecido bien y distinto a todas las demás asignaturas, porque se hace al revés. En todas las materias se da primero el libro y después se hacen actividades mientras que en la F y Q no se utiliza el libro y se hace todo a base de actividades. Al principio me costaba porque no utilizaba el libro pero después te acostumbras.

Pregunta-2. ¿Qué diferencias has encontrado entre la forma en la que se te está enseñando la Física y Química en el presente curso comparado con los otros?
¿Qué ventajas o inconvenientes encuentras en la actual?

Andrés. En este caso se ha ido aprendiendo utilizando el método científico. Realizando hipótesis y aceptándolas o rechazándolas después de comprobarla. La única desventaja que encuentro es que se pone poco trabajo para casa; pues, aunque el profesor nos dice que debemos repasar, la gente no lo hace porque estamos acostumbrado a hacer aquello que se manda.

Silvia. La ventaja que encuentro es que se trabaja en equipo y puedes dar tu opinión. La desventaja es que el profesor debería explicar más al final.

Carmen. En EGB no aprendí nada porque todo era memorístico, como pasa con las otras asignaturas. Así p.e. estudias el s. XVIII, lo memorizas, pero después no te acuerdas de nada. La ventaja que encuentro es que se aprende más y se trabaja más en clase.

Belén. *El método es al revés que el utilizado en las otras asignaturas. En éstas se da el libro y después se hacen actividades, mientras que en la F y Q se hace todo el tiempo actividades y el libro si lo utilizas lo haces al final. La ventaja fundamental es que te ayuda a entender mejor las cosas.*

Pregunta-3. Indica si con este método se participa más en clase.

Andrés. *La participación es mayor aunque no es total porque hay algunos que independientemente del método no participan. Aquí (en la clase) siempre que cualquier compañero da alguna idea se le ha dado explicación.*

Silvia. *Se participa más que en otras asignaturas por los grupos. Además éstos exponen las ideas del mismo cada vez uno diferente y no pasa como en otras asignaturas que siempre intervienen los mismos. Tiene la ventaja de que las ideas se debaten.*

Carmen. *La participación es mayor. Se tienen en cuenta las ideas de los alumnos y el profesor hace que te des cuenta si te has equivocado.*

Belén. *Se participa más que en las otras asignaturas.*

Pregunta-4. Señala si te ha permitido conocer nuevas formas de trabajar y si prefieres la clase de esta forma o la basada en las explicaciones del profesor.

Andrés. *He aprendido a analizar. Antes te daban la teoría, la fórmula y poco más, ahora se analiza, lo importante no es el resultado sino el proceso. Se van descubriendo y eso hace que te preguntes por qué son así las cosas y encuentres respuesta. Prefiero la clase así.*

Silvia. *He aprendido a trabajar en equipo. Yo prefiero que sea así aunque también que el profesor explique más. No quiero decir que explique siempre sino que al final lo haga más porque hay veces que tras las discusiones no queda todo claro.*

Carmen. *Prefiero hacerlo a partir de actividades porque al discutirlos te das cuenta de lo que sabes y si te equivocas, alguno del equipo te lo hace ver. El trabajo en grupo es más importante para comprender que si el profesor lo explica.*

Belén. *El método me ha ayudado a tener nuevas formas de trabajo. Prefiero con actividades porque así las explicaciones del profesor se realizan en función de las respuestas dadas por los alumnos.*

Pregunta 5. *¿Crees que el método te ha ayudado a aprender más la asignatura?*

Andrés. *Lo que ha hecho Juan en clase ha sido para comprender mejor.*

Silvia. *Sí porque en los grupos lo que no entiendes te lo explican.*

Carmen. *Sí.*

Belén. *Sí, he aprendido más. De la otra forma estudias lo del libro. Con esta forma se trabaja más.*

Pregunta 6. *Haz una valoración global del método. (Bueno, regular, malo)*

Andrés. *Bueno.*

Silvia. *Bueno.*

Carmen. *Bueno. Ahora creo que se puede mejorar de forma que el profesor se dé cuenta de cuáles no participan en la clase y preguntarles más a ellos.*

Belén. *Bueno.*

Pregunta 7. ¿Consideras que esta forma de haber estudiado la Física y Química te ha hecho aumentar el interés por esta asignatura? Consideras que de forma global te ha resultado satisfactorio esta forma de estudiar.

Andrés. *El método es interesante y ha hecho que le dediques más tiempo a la asignatura por eso satisface.*

Silvia. *Creo que sí. El método te hace que estés en todo momento atendiendo en la clase y resulte satisfactorio.*

Carmen. *Sí, porque siempre es interesante descubrir nuevas cosas. El método te obliga a estar más atenta. A mí me gusta.*

Belén. *Creo que sí. El método favorece la atención en clase y aumenta el interés. Sí me parece satisfactorio.*

Como puede apreciarse en la primera cuestión, los cuatro entrevistados hacen una valoración positiva del método destacando genéricamente como valoran la necesidad de razonar que propugna la metodología al ir más allá del aprendizaje memorístico al que están acostumbrados. En particular, Andrés, señala el olvido de los conocimientos adquiridos en años anteriores, Silvia, reivindica, en cierta forma, mantener algunas de las características de la enseñanza convencional a la que estaba acostumbrada y por ello considera que el profesor debería explicar algo más. Belén marca la diferencia entre ambos métodos de una forma muy sintomática resaltando que al principio le costó adecuarse por lo que suponía de cambio.

La segunda pregunta pretendía conocer las diferencias que habían podido observar. Como en la pregunta anterior todos habían señalado ya alguna diferencia, esta respuesta reafirma lo citado anteriormente y sirve para ampliarla. No obstante, es de destacar la respuesta de Andrés en la que centra la diferencia

en la aplicación del método científico (como método de las hipótesis sin axiomatizar un conjunto de normas), objetivo claro de la enseñanza propuesta que pretende que aprendan los alumnos a través de investigar.

La tercera cuestión plantea la participación de los estudiantes, requisito necesario para poder construir conocimientos, por lo que era necesario conocer cual era su opinión respecto a este tema. Las respuestas vuelven a ser unánimes y todos indican la mayor participación que el método comporta. No obstante, Andrés indica que la participación no es total señalando que algunos compañeros y compañeras no lo hacen porque no quieren. Andrés, Silvia y Belén señalan la ventaja que para el aprendizaje tiene exponer las ideas de los alumnos y alumnas así como su tratamiento. Cuestión considerada esencial en una orientación constructivista del proceso de aprendizaje.

La cuestión-4 se refiere a las posible nuevas formas de trabajo que han podido conocer. Andrés señala, como un aspecto destacable del método que lo importante es el proceso y no el resultado, mientras Silvia, destaca el haber aprendido a trabajar en equipo. Todos indican que prefieren este método y que sí les ha aportado nuevas formas de trabajo. Llama la atención la respuesta reiterativa de Silvia respecto a la necesidad de que después del debate haya una reformulación y síntesis del profesor que permita clarificar más los puntos de vista de la Ciencia.

La cuestión-5, relativa a la percepción sobre el aprendizaje, la considerábamos imprescindible para comprobar si ellos mismos percibían mejora en el aprendizaje de la asignatura, comprobando que los cuatro contestaron afirmativamente.

Los cuatro entrevistados valoran el método como bueno, si bien, Carmen, considera que el profesor debe preguntar más a aquellos alumnos y alumnas que participan menos, tanto en los grupos como en las puestas en común, para, de esa forma, lograr una mayor participación de todo el alumnado. Esta opinión supone

una clara percepción sobre la conveniencia de que la participación es fundamental en el aprendizaje.

Las respuestas a la pregunta-7 aborda otra de las cuestiones didácticas que se consideran esencial desde el punto de vista afectivo: lograr que los alumnos tengan interés por aprender la materia. Por otra parte, en la fundamentación teórica de este trabajo se señaló que uno de los problemas didácticos sin resolver que apoyaban la necesidad del cambio de currículum era el aumento del desinterés que los estudiantes tienen por las ciencias a medida que aumentan los años que reciben formación. Por esa razón, las respuestas a la pregunta vienen a corroborar la hipótesis según la cual la utilización de métodos basados en el aprendizaje por investigación aumenta el interés discente y, por tanto, se traducirá en una mejora del aprendizaje logrado. Particularmente, Andrés señala que este interés ha hecho que le dedique más tiempo a la asignatura, a pesar de que antes había indicado que en casa le dedicaba poco tiempo porque se ponía poco trabajo. Silvia indica como una de las causas del interés el aumento de la atención en clase y Carmen destaca lo interesante que es descubrir nuevas cosas.

Por tanto, de forma global las entrevistas han permitido comprobar que el alumnado se siente mucho más satisfecho con el método de enseñanza recibido el último curso que con el recibido en los años precedentes al considerar que aprende más, participa más en clase y aumenta su interés por el aprendizaje de la materia.

7.2.6. b. Resultados y análisis del cuestionario propuesto para valorar las actitudes del grupo experimental de 8º EGB.

Como ya se ha mencionado las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje es un prerrequisito afectivo necesario para favorecer el logro de aprendizaje significativo. Por esa razón, se elaboró el documento-17 dirigido a los alumnos y

alumnas de 8° de EGB que habían sido instruidos en la naturaleza corpuscular de la materia siguiendo la metodología basada en el aprendizaje por investigación y cuyo profesor había sido el mismo investigador. En él se les proponía que valorasen sobre 10 puntos aspectos con la nueva forma de enseñar que habían recibido.

Tabla 7.8.: Valoración promedia (máximo 10) del grupo experimental de 8° de EGB sobre diversos aspectos actitudinales de la metodología propuesta (N = 32).

Cuestión	X	σ
1 . Interés por la ciencia	7,5	1,2
2. Comprensión de conocimientos	7,5	1,7
3. Formas de trabajar y pensar	7,9	1,7
4. Relación con compañeros	5,7	1,2
5. Atención y dedicación	7,0	2,3
6. Participación	7,2	2,6
7. Profesor explicativo	6,7	2,2
8. Profesor pone actividades	7,0	2,7
9. Trabajo individual	3.1	3,0
10. Valoración global	7,5	2,1

Al analizar estos resultados encontramos:

a) Algunos items confirman las opiniones de los entrevistados en el punto anterior al valorar con notas altas cuestiones preguntadas en él como es el interés por la ciencia (7,5), la comprensión de conceptos (7,5), la atención y dedicación al estudio de la materia (7,0) y la participación (7,2).

b) El item 3º consigue la nota mayor (7,9) lo que supone que la forma de trabajo propuesto en el aula les satisface y, además, ellos mismos consideran que el método les ayuda a pensar, cuestión ésta base según las finalidades educativas manifestadas con anterioridad.

c) La relación con los compañeros obtiene una nota relativamente baja (5,7), ello lo valoramos como consecuencia de la poca práctica que esos alumnos tenían en trabajar en grupo, cuestión que provocaba algún tipo de problemas que ya fue puesto de manifiesto en alguna de las fases del desarrollo del tema. Sin embargo, el trabajo individual lo califican con la nota más baja (3,1) lo que suponemos que se debe a que consideran este tipo de trabajo como el que realizan fuera del aula (“deberes para casa”) y sobre el que sí tienen experiencia. Recordemos que en la entrevista de los de 2º ya alguno había puesto de manifiesto alguna de los inconvenientes del trabajo en grupo en el aula.

d) Los items 7 y 8 muestran una diferencia escasa y, por tanto, no significativa entre el profesor explicativo o el que propone actividades lo que permite afirmar que, por una parte, continúan considerando imprescindible las explicaciones del profesor pero que también valoran bien (7) la propuesta de aprender en base a las actividades. Es decir, que tal como algunos se manifestaron verbalmente “las actividades sí, pero las explicaciones también”. Esto, junto con la valoración global del método que hicieron (7,5) viene a mostrar que entendían igualmente

importante los dos roles del profesor, la de ser buen “explicador” y, al mismo tiempo, un buen director de la puesta a punto de las actividades en clase. El elevado valor de la desviación estándar en algunos de los items como los que estamos comentando vienen a señalar probablemente la diferente forma de actuar en el aula de los profesores encuestados.

e) La puntuación correspondiente al trabajo individual adquiere la menor nota 3,1, este valor es un dato que requeriría un estudio posterior. Nosotros interpretamos que el profesorado, poco acostumbrado al trabajo en grupos, -la mayoría era la primera vez que lo utilizaba- no interpreta como trabajo individual el que se realiza en los grupos y, probablemente, no dejan tiempo a la reflexión individual previa a muchas de las actividades presentadas. El valor alto de la desviación estándar 3,0 indica que entre ellos, el trabajo en grupos de los alumnos, lo llevaban a la práctica de forma muy diferente.

e) Como ya se ha indicado la valoración global que hacen es buena al calificar el método con un 7,5 lo que supone que se encuentran satisfechos sobre el mismo. Ahora bien, dado que estos alumnos eran la primera vez que recibían una enseñanza de estas características y que habían comenzado el curso con una metodología convencional, debemos ser prudentes en el momento de extraer conclusiones y valorar la nota media como positiva; pero, que requeriría una mayor profundización a través de conocer las opiniones de los mismos alumnos después de otros años con la misma metodología para eliminar, de esa forma, el posible “efecto placebo” que supone huir de la monotonía cuando la clase es siempre igual.

7.2.6.c. Estudio comparativo de las actitudes de los estudiantes que han seguido metodologías convencionales con las que han sido instruidos siguiendo la metodología propuesta.

Con el fin de disminuir la influencia del “factor profesor” en la valoración actitudinal de la metodología propuesta se preparó un diseño en el que intervienen otros profesores de grupos experimentales distintos al propio investigador.

El diseño consistió en aplicar un cuestionario similar al del diseño anterior a estudiantes cuyo profesorado estaba empleando la metodología propuesta y compararlos con las respuestas de otros estudiantes, de los mismos centros, cuyo profesorado empleaba metodologías convencionales.

La tabla-7.9 muestra los resultados obtenidos. En ella se presentan los valores medios obtenidos así como la desviación estándar en cada uno de los grupos experimentales y de control así como la *t* de student que permite verificar si existen diferencias significativas entre las distintas muestras o si, por el contrario, estas diferencias son debidas al azar.

Tabla 7.9. Comparación de las valoraciones promedio de diversos aspectos actitudinales realizadas por una muestra de grupos experimentales (N = 730) y otra de grupos de control (N=134) que han seguido metodologías de enseñanza diferentes.

Contenido del ítem	Valoración media del grupo experimental		Valoración media del grupo de control		t
	X (N=730)	(d.s.)	X(N=134)	(d.s.)	
1.1. Interés por la ciencia	6,2	1,1	5,2	2,4	4,40
1.2. Comprensión de conocimiento	6,3	1,0	5,6	2,5	3,44
1.3. Formas de pensar y trabajar	6,0	1,2	4,4	2,8	6,25
2.1. Atención y dedicación	5,8	1,0	5,2	2,4	2,95
2.2. Participación	6,6	1,0	4,2	2,4	11,4
2.3. Ideas previas	7,2	1,1	4,2	2,8	12,4
2.4. Explicación del profesor	6,0	1,4	6,9	2,9	3,66
2.5. Preferible actividades	5,9	1,4	5,7	2,9	0,62
3. Valoración global	6,5	1,1	3,4	3,4	6,45

* diferencia no significativa

La diferencia en la valoración global a favor de la metodología propuesta (6,5 frente a 3,4) es claramente manifiesta. Ahora bien, la valoración global dada por este grupo experimental (6,5) es un poco inferior a la que dan al grupo experimental del diseño anterior (7,5) (tabla 7.8). Esta diferencia puede ser explicada en base a la poca experiencia que tenía en el dominio de la metodología propuesta el profesorado experimentador en este diseño comparada con la que tenía el del diseño anterior. Así, pues, con mayor razón las diferencias apreciadas

entre el grupo experimental y el de control resultan suficientemente significativas ya que las condiciones más desfavorables de aplicación de la enseñanza corresponden al grupo. Es obvio que la experiencia en una metodología de enseñanza es esencial para poder dominarla y, consecuentemente, obtener el mayor rendimiento de la misma.

Un análisis más pormenorizado de estos resultados permiten apreciar:

1°. El interés por la ciencia, cuestión repetidamente señalada como uno de los factores importantes en el aprendizaje de los alumnos, es valorado mejor por los que han sido instruidos a través de los programas de actividades diseñados que por los que han seguido metodologías convencionales (6,2 frente al 5,2).

2°. Los estudiantes del grupo experimental perciben que comprenden mejor los conceptos (6,3, frente a 5,6).

3°. Los estudiantes del grupo de control valoran mediocrementemente la forma de trabajar (4,5), en comparación con los del grupo experimental (6,0).

4°. La mayor diferencia se obtiene cuando se pregunta sobre la atención prestada a las ideas previas (7,2 frente a 4,2). Este resultado es lógico si tenemos en cuenta que una de las críticas básicas a la enseñanza por transmisión verbal de los conocimientos científicos ya elaborados es no considerar explícitamente el conocimiento anterior del alumnado.

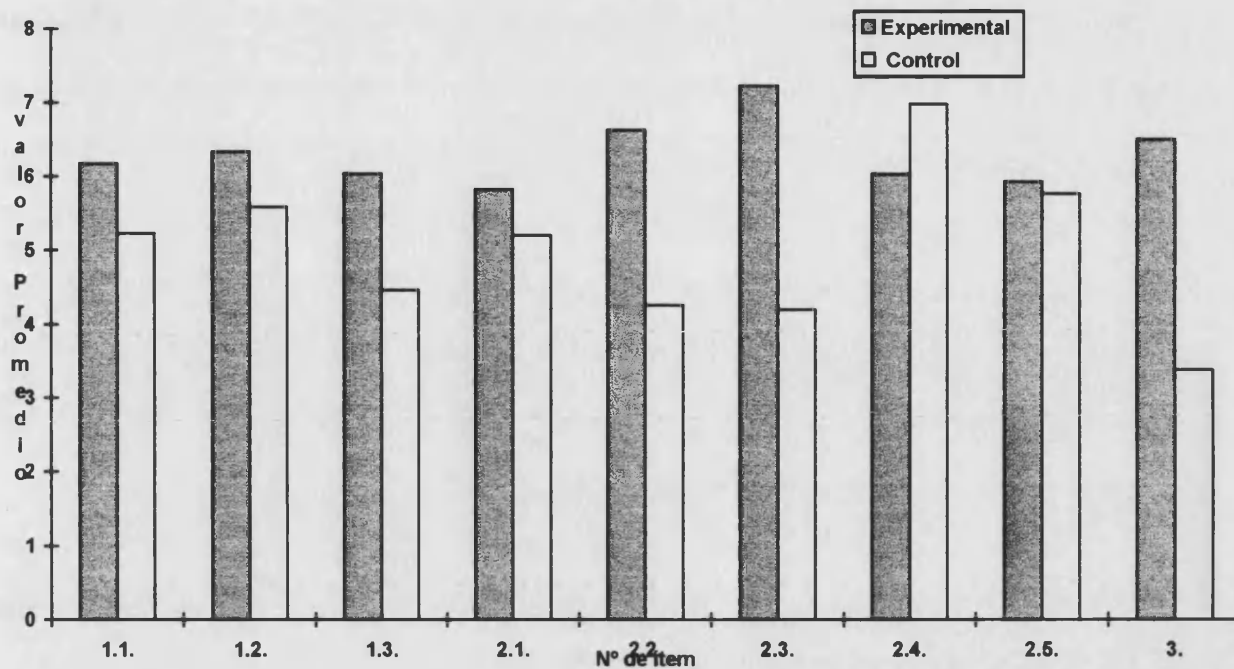
5° Respecto a las valoraciones efectuadas sobre el “rol explicativo” del profesor encontramos que ambos lo hacen de forma positiva pero que los del grupo experimental lo valoran menor (6 frente a 7 de los de control). Esto consideramos que es debido a que mientras en la metodología convencional la explicación del

profesor es prácticamente la única forma de aprender en el aula, en la metodología propuesta intervienen otras como es la discusión en pequeños grupos.

6°. No hay diferencias significativas en el ítem correspondiente a proponer actividades, consideramos que esto se debe a la descontextualización de la propia pregunta y pone de manifiesto una percepción general de los estudiantes respecto a la necesidad de participar de forma activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Hay que tener en cuenta que en una metodología de enseñanza por transmisión de tipo “aplicacionista” se enseñen los conceptos y, posteriormente, se aplican proponiendo actividades o ejercicios de consolidación del concepto a los estudiantes y que, éstos consideren positiva su realización (única forma de participar prácticamente en una metodología convencional).

7°. Un dato llamativo es la diferencia entre los valores de las desviaciones estándar mucho mayores en la valoración que hacen los estudiantes correspondientes a los grupos de control lo que indica una variedad mayor en las opiniones, el último valor es una prueba elocuente de la gran disparidad existente entre ellos ya que frente a una valoración global valorada en 3,4, la desviación estándar es, también, 3,4.

La gráfica 16 representa, de forma comparada, las diferencias entre las actitudes, mostrando que en todos los ítems las valoraciones que realizan los alumnos de grupos experimentales son mejores que los que proceden de grupos de control.



Graf. 7.6: Comparación entre las notas asignadas por el alumnado a las actitudes.

Por tanto, estos diseños han permitido contrastar de nuevo que los estudiantes que trabajan en un entorno del aprendizaje por investigación muestran una mejor actitud hacia la metodología de enseñanza propuesta en este trabajo.

7.3. ¿CÓMO VALORA EL PROFESORADO LA NUEVA PROPUESTA METODOLÓGICA? RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONTRASTACIÓN DE LA TERCERA CONSECUENCIA DE H.2.

La tercera consecuencia de H.2 señalaba las valoraciones y actitudes positivas que el profesorado mostrará hacia el método si se le ofrece la oportunidad de reflexionar colectivamente en él y practicarlo. Para contrastarla se elaboraron dos diseños, el primero basado en pasar un cuestionario al profesorado que, a través de planes de formación y tutorizados por el investigador de este trabajo, habían accedido a poner en práctica el método en el aula. Recordemos que el segundo diseño consistía en la evaluación cualitativa de la nueva propuesta metodológica por dos profesores después de la realización de

tutorías personales que dirigió el propio investigador y en las que se programó y desarrolló en el aula el primero de los programas de actividades mencionado en el anexo-1. Los dos profesores tutorizados eran de características muy diferentes, una profesora joven, prácticamente en el período de inducción con dos años de experiencia docente y un maestro que llevaba 30 años enseñando Ciencias y Matemáticas en la escuela. El programa de iniciación en la nueva metodología tuvo una duración de tres meses, lo que permitió mantener una relación directa entre el tutor y cada uno de los profesores.

7.3.1. Resultados del cuestionario aplicado al profesorado que ha practicado en el aula la nueva propuesta metodológica.

En el curso de formación que se desarrolló para mostrar la metodología del aprendizaje por investigación participaron 27 profesores y profesoras de EGB, de colegios públicos y concertados ubicados en la ciudad y en pueblos de Valencia. Estos docentes enseñaban Ciencias en la segunda etapa de EGB. Todo el profesorado tenía experiencia de bastantes años en la docencia y hasta el momento de la experimentación, estaban empleando formas convencionales de enseñanza basadas, en general, en la transmisión verbal de los conocimientos científicos ya elaborados seguida de la realización de algunas actividades o ejercicios por los alumnos. Una vez concluido la fase de iniciación en la nueva propuesta (30 h) y la de seguimiento en el aula donde aplicaban el programa de actividades elaborado (la totalidad del curso), se reunió al profesorado para evaluar este curso de formación mediante la cumplimentación de un cuestionario estructurado en tres partes en base a los objetivos generales perseguidos en estas enseñanzas. En el cuestionario presentado se les pedía que puntuasen entre 0 y 10 cada uno de los items según la valoración que ellos hacían de la metodología que habían estado utilizando antes del programa de formación y la utilizada en ese

curso escolar. Es decir, se trataba de que realizasen una valoración comparativa de ambas metodologías.

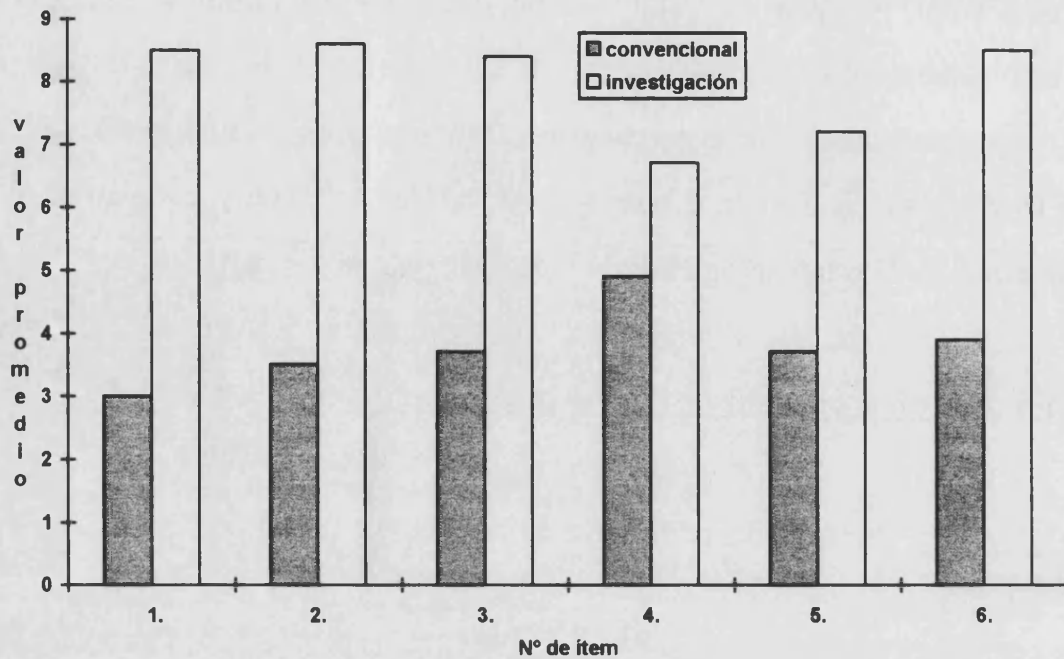
A continuación se exponen varias tablas correspondientes a cada uno de los tres apartados del cuestionario. Los valores tabulados corresponden a los promedios de la puntuación emitida por cada uno de los participantes.

a). En relación al aprendizaje de conceptos, teorías, etc.

Tablas-7.10. Puntuación promedia de los items correspondientes a la opinión del profesorado respecto a la nueva propuesta metodológica.

Contenido del item	Puntuación del profesorado (N = 27)			
	Met. conv. (d.s)		Met. prop (d.s)	
1. Atención prestada a las ideas previas	3	1,0	8,5	1,8
2. Exige reflexión cualitativa sobre los conceptos	3,5	1,2	8,6	2,1
3. Introducción no dogmática de los conceptos	3,7	1,1	8,4	1,1
4. Posibilita un aprendizaje significativo	4,9	1,4	6,7	1,5
5. Es capaz de reducir los errores conceptuales	3,7	1,1	7,2	1,8
6. Es capaz de producir reestructuración de las ideas previas (cambio conceptual)	3,9	1,4	8,5	1,4

La gráfica 17 muestra las diferentes valoraciones de los items.



Graf. 17: Comparación entre las notas asignadas por el profesorado al aprendizaje de conceptos.

Los ítems corresponden a cuestiones consideradas esenciales para lograr que el aprendizaje sea significativo. La comparación muestra una diferencia clara favorable en todos los ítems a la metodología por investigación. En general se observa que los contenidos de los 6 ítems relativos a metodologías convencionales reciben valoraciones muy bajas, pues todos menos uno se califican entre 3 y 4 mientras que los mismos conceptos en la metodología por investigación alcanzan notas medias entre 7 y 9 (menos uno).

De forma individual, la diferencia entre las valoraciones dadas al ítem-1, referido a la atención prestada a las ideas, es la mayor (3 y 8,5 respectivamente). Esta diferencia puede considerarse normal si tenemos en cuenta que una de las críticas principales que se realizó a la enseñanza por transmisión verbal era que no tenía en cuenta las ideas de los estudiantes y que cualquier metodología que pretendiese lograr aprendizajes significativos ha de considerar necesariamente como punto de partida aquellas ideas a la hora de elaborar la estrategia didáctica.

En cuanto a la diferencia de puntuación en la introducción de conceptos científicos (3,5 y 8,6 respectivamente) es, también, bastante considerable. En los comentarios a este resultado los propios profesores demuestran una cierta insatisfacción al afirmar que éstos se explican directamente y, posteriormente, se hacen ejercicios en clase.

En el ítem 3, la alternativa propuesta es valorada mucho más positivamente ya que al presentar los conceptos dentro de un marco general de situaciones problemáticas se evita una introducción dogmática, propia de la transmisión verbal.

El profesorado considera muy válido el método para provocar cambios conceptuales (ítem 6); no obstante manifiesta sus dudas respecto a su validez para reducir los errores conceptuales (ítem 5). Una posible explicación, a esta aparente contradicción es que el profesorado es consciente de las dificultades que tienen los alumnos para conseguir superar algunas de sus concepciones, y, por ello, aún pensando que el método es bueno, consideran que el cambio conceptual depende también de otros aspectos.

Hemos dejado para el final del análisis la valoración del ítem 4, relativo a si la metodología ayuda a conseguir un aprendizaje significativo, comprobando que también hay diferencias a favor de la nueva propuesta (6,7 frente a 4,9). No obstante, llama la atención que la diferencia encontrada sea la menor en el conjunto de las puntuaciones de los 6 ítems. Ello nos condujo a preguntar personalmente a algunos de los encuestados qué explicación se podía dar a este resultado, en principio, contradictorio. En estas conversaciones informales se expresaron algunas ideas que convendría tenerlas en cuenta en nuevas investigaciones sobre el pensamiento docente como que:

a) “cualquier metodología de enseñanza, por bien fundamentada que esté, encontrará dificultades para lograr un aprendizaje significativo” lo que induce a

pensar en la existencia de expectativas o actitudes negativas del profesorado respecto a la capacidad de aprendizaje del estudiante (Gil 1993).

b) “cualquier metodología de enseñanza si está bien expuesta logrará que los alumnos aprendan”. Este eclecticismo metodológico (es decir que todo vale) es, en nuestra opinión, la solución de compromiso encontrada por aquellos profesores asistentes a uno de estos cursos de formación que valora positivamente la propuesta innovadora que se le han presentado, pero que no llega a poner en cuestión la metodología convencional que practica en clase. O sea, la resolución del conflicto didáctico “cualquier método vale si se lleva bien a la práctica” “no hay, pues, metodologías que per sé favorezcan más o menos un entorno de aprendizaje significativo”.

En resumen, y como comentario final a la valoración, en conjunto de todos los items hay que resaltar que en los 6 items de este apartado, los profesores comparativamente han valorado mucho mejor y de manera significativa la nueva propuesta frente a la metodología habitualmente empleada en clase.

b) En relación a la adquisición de destrezas y habilidades metodológicas (conocimientos procedimentales).

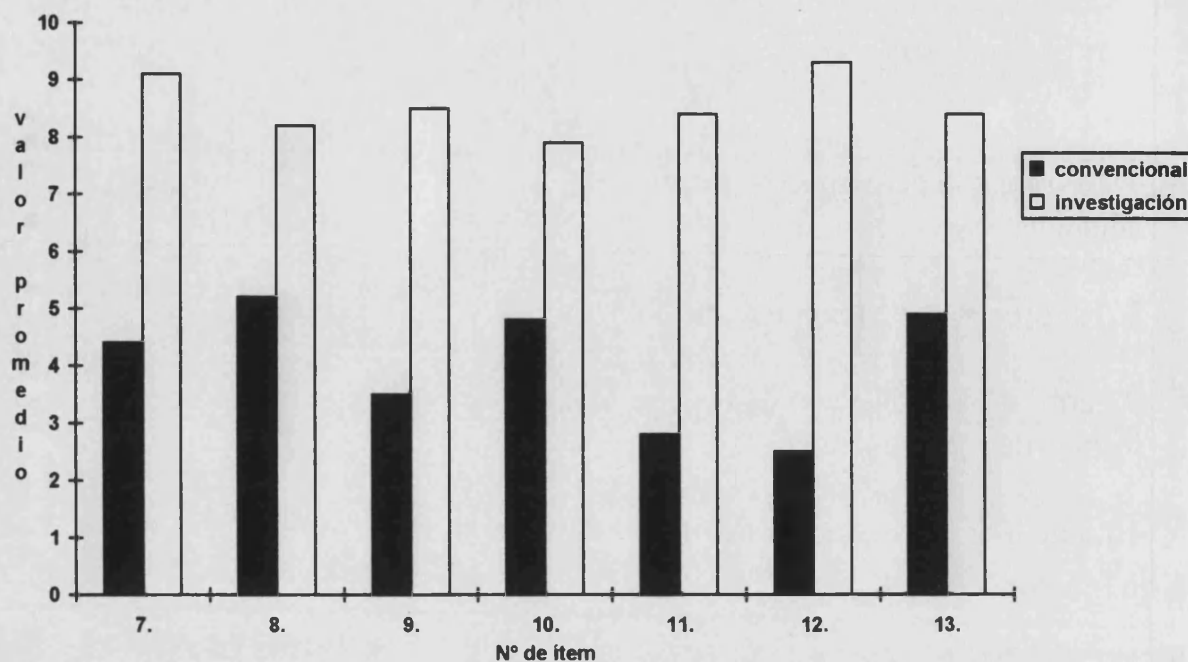
A continuación exponemos la tabla 7.11 en la que se muestran las notas promedias, sobre los aspectos procedimentales que fueron consultados los 27 profesores participantes en el curso de formación ya citado.

Tabla 26. Evaluación del profesorado sobre los aspectos procedimentales tenidos en cuenta en las metodologías de enseñanza convencional y por investigación.

	Valoración promedia N = 27
--	-------------------------------

N° y contenido del ítem	Met. trad (d.s)		Met. inv. (d.s)	
7. Favorece la participación de los alumnos	4,4	1,2	9,1	2,1
8. Favorecer la atención y dedicación	5,2	1,6	8,2	1,8
9 Permitir la adquisición de nuevas formas de razonamiento	3,5	1,0	8,5	1.1
10. Facilitar la emisión de hipótesis	4,8	1,1	7,9	1,2
11. Facilitar la visualización de modelos	2,8	0,9	8,4	1,5
12.Favorecer la realización de diseños	2,5	0,6	9,3	1,4
3. Interpretación de datos	4,9	1,3	8,4	1,5

La gráfica 18 representa gráficamente la diferencia en los ítems.



Graf. 18: Comparación entre las notas asignadas por el profesorado a los procedimientos.

Como puede apreciarse por la gráfica 18 todas las diferencias entre lo que el profesorado considera respecto a la posibilidad de alcanzar los aspectos señalados al aplicar en el aula una u otra metodología son significativas. Así, mientras la tradicional es considerada inadecuada para lograr todos los aspectos señalados en los ítems (sólo llega a **5,2** el ítem correspondiente a la atención), la metodología por investigación alcanza notas medias superiores al 8 lo que significa un alto grado de confianza en su adecuación para obtener los aspectos metodológicos tratados.

La valoración en el ítem correspondiente a la participación obtiene un valor muy elevado **9,1** en el aprendizaje por investigación. Como diferencias más acusadas aparece lo referente a los diseños; pues, mientras la enseñanza por transmisión verbal de conocimiento se caracteriza, entre otras cosas, por presentar las instrucciones procedimentales para que los alumnos lo sigan al pie de la letra, la enseñanza por investigación considera la elaboración de diseños,

por parte del alumnado, como una de las fases imprescindibles para cumplir con los objetivos que el método se plantea.

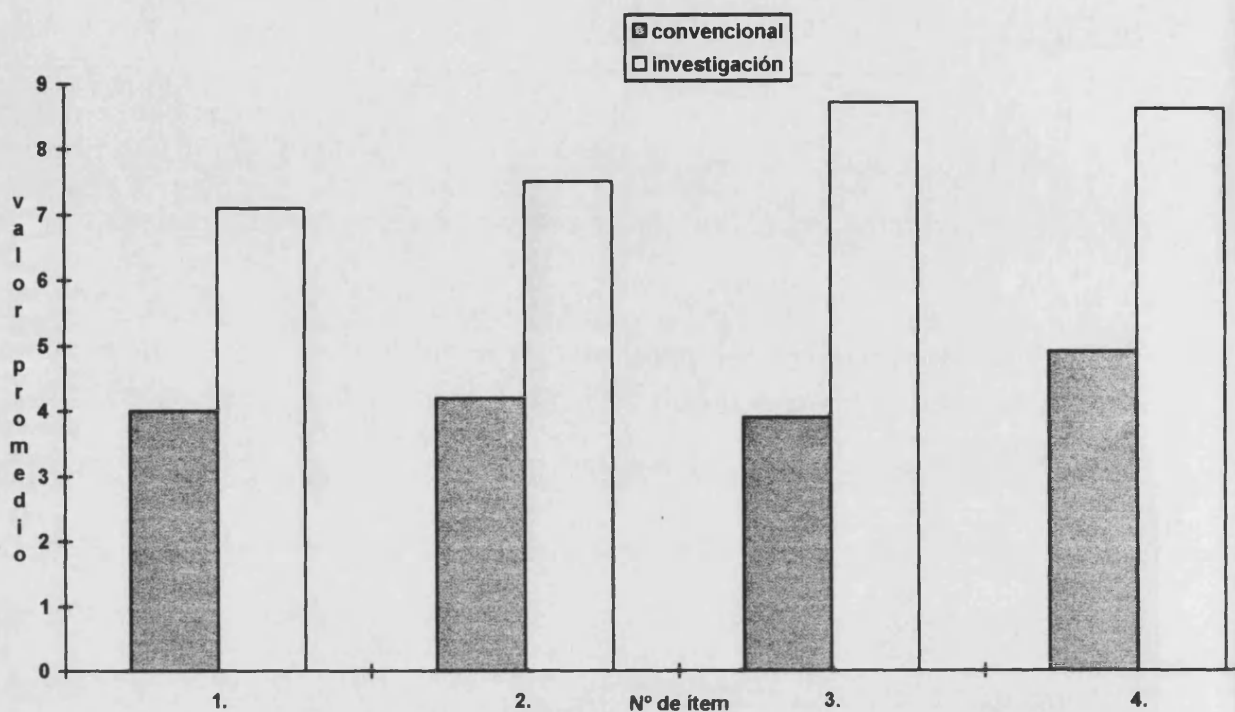
c). En relación a la mejora de actitudes

Veamos, a continuación, la tabla que muestra las notas del profesorado respecto a las diferencias en los contenidos de tipo actitudinal.

Tabla 7.12. Evaluación del profesorado sobre los contenidos actitudinales que impregnan las metodologías de enseñanza convencional y por investigación.

Nº y contenido del ítem	Valoración promedia N = 27			
	Met. trad	(d.s.)	Met.inv.	(d.s.)
1. Aumentar el interés del alumnado por la Ciencia	4	1,3	7,1	1,5
2. Produce autoconfianza en el alumnado	4,2	1,3	7,5	1,6
3. Favorecer la creatividad del alumnado	3,9	1,0	8,7	1,2
4. Favorecer el interés del profesorado	4,9	1,3	8,6	1,1

La comparación de las notas se observa en la gráfica siguiente



Graf. 19: Comparación entre las notas asignadas por el profesorado a las actitudes.

También en los aspectos actitudinales el profesorado que ha experimentado el método de aprendizaje por investigación en el aula lo considera mucho más válido para conseguir objetivos de tipo actitudinal, según muestra la tabla nº 7.12 y se observa en la figura 7.9 donde se han representado estos valores. Así, nuevamente los profesores asistentes al curso de formación valoran mediocrementemente a las actitudes generadas por la metodología tradicional y dan valores elevados a los mismos ítems cuando es la propuesta investigada.

El último ítem resulta singularmente significativo pues pregunta sobre el interés que el método provoca en el propio profesorado obteniéndose un 4,9 en el tradicional, lo que significa que en general la mayoría no está satisfecho con el

que hasta ahora venía aplicando; mientras muestra que el nuevo método ha despertado un gran interés en ellos (8,6).

d) Valoración global de las metodologías de enseñanza por el profesorado del curso de formación.

Por último pasamos a comentar las valoraciones promedias que atribuyeron a las dos metodologías de enseñanza consultadas.

La valoración global del método resulta mucho mejor valorado el experimentado en este curso (7,4) que el que venían aplicando de forma usual (5,1). Si comparamos este resultado global con los anteriores se observa que si bien las diferencias son significativas éstas se acortan cuando se trata de hacer la valoración global, pues la metodología convencional, a pesar de haber obtenido notas individuales muy bajas, ahora obtiene el resultado más alto (5,1) y , contrariamente, a pesar de valorar con una nota media alta (7,4) a la de investigación, esta nota es inferior a la de los items que de forma aislada otorgaron.

Por tanto, los resultados de las tablas anteriores han permitido mostrar cómo el profesorado asistente a cursos de formación en el que se le introduce en las bases metodológicas de la enseñanza, a través de un proceso de aprendizaje por investigación, valora mucho mejor éste cuando se produce a través de la metodología investigada tanto si se trata de contenidos conceptuales, como procedimentales o actitudinales.

7.3.2. Resultados de las entrevistas mantenidas con el profesorado que intervinieron en el segundo diseño.

Por último, se preparó otro diseño consistente en conocer la opinión en profundidad sobre el método dado por los dos profesores que aceptaron participar en el programa de formación “por inmersión”. La aceptación se produjo tras participar cada uno de ellos en sendos cursos de 20 horas de duración y en los que, tras analizar críticamente la enseñanza convencional se presentó la nueva propuesta de aprendizaje por investigación como alternativa. El programa de formación, como ya se indicó, consistió en un seguimiento diario e incluso con participaciones directas del experimentador y observaciones del profesor y profesora participantes.

A continuación se presentan las transcripciones efectuadas por el profesor José y la profesora Ana, participantes en este diseño, acompañados de un comentario a cada una de las respuestas.

1. ¿Cuáles fueron los motivos por los que aceptaste participar en la tutoría sobre enseñanza de la Química?

José:

Por la preocupación por ver que algún fallo tenía, al comprobar que mis alumnos, a pesar de esforzarme en el aprendizaje de la Química, no obtenían los resultados apetecidos ¡No entendían!.

Yo me hacía preguntas y las hacía a compañeros. Por fin me enteré que estas mismas preguntas hacía años que otras personas las estaban investigando, comprobando que pruebas realizadas a alumnos de 2º de BUP respecto a la formulación química daban resultados completamente negativos ¡un 99% de alumnos no recordaban absolutamente nada! Conclusión. ¡Aquí hay un fallo!

El fallo corroboraba mi preocupación. Era un aprendizaje memorístico, que estaba mucho tiempo y no era rentable

Ana:

El principal motivo fue que comencé a trabajar como profesora de Ciencias en Septiembre de 1991, era mi primer año de experiencia, ya que había terminado la carrera de Biológicas en Junio. Como no sabía muy bien por donde empezar continué en la línea que se venía haciendo en el colegio que era seguir el libro NÚCLEO (Edt. Bruño) ya que los alumnos lo tenían ya comprado. Este tipo de planteamiento no me gustaba, me pareció aburrido para mí y para los alumnos ya que apenas participaban en clase, aunque yo modifiqué algo para hacerlos más participativos.

José acepta participar en la tutoría debido a su insatisfacción respecto a los logros de aprendizaje. En conversaciones privadas entre el tutor y este profesor reconocía que no dominaba los contenidos de Ciencias, mientras consideraba que sí dominaba los de Matemáticas (es habitual en nuestro país que el profesor de EGB que imparta Ciencias también lo haga en Matemáticas). Este era uno de los argumentos que propició la relación de tutoría que se estableció.

También Ana acepta la tutoría también por insatisfacción; si bien, en este caso, esta profesora lo realiza porque ella misma encuentra que necesita ayuda para salir del “libro de texto”. En efecto, la experiencia que tuvo en el CAP le había hecho ser consciente de la existencia de metodologías alternativas a la que representaba una estricta dependencia del libro de texto.

2. ¿Qué expectativas tenías y en qué medida se vieron confirmadas o no después de tu experiencia?

José:

Debo reconocer que comencé con una gran desconfianza, basado en estar cansado de tantas teorías que nunca se llevan a cabo dentro del aula, en las

mismas condiciones de trabajo, material, etc. Además, siempre cuesta cambiar hábitos de ¡30 años! Tengo que confesar que me equivoqué.

Ana:

Lo primero que quería hacer era convencerme de que el método que venía utilizando no servía para lograr aprendizajes significativos.

El curso fue muy útil porque me situó en la actual línea de la enseñanza de las Ciencias. Comprendí la importancia de las ideas previas, me sirvió para orientarme sobre lo que es una unidad didáctica y cómo plantearla.

Aquí el punto de partida fue muy diferente; pues, mientras José, dada su experiencia, es escéptico, Ana, por lo contrario, muestra desde el comienzo una gran confianza en la nueva propuesta. Debe señalarse que la actitud en ambos, a pesar de las expectativas tan diferentes con las que se comenzó, fue, en todo momento, muy positiva. José desconfiaba de los “teóricos alejados del aula” y reconoce que se equivocó.

3. Describe brevemente en qué consistió el curso al que asististe.

José:

Se preparó una programación de Química y un profesor del CEP (el investigador autor del trabajo) lo impartía a uno de mis grupos. Yo asistía como alumno y como crítico. Después esa misma clase la impartía yo a los otros tres grupos de 8º que tenía.

Ana:

Asistí a unas sesiones en las que se justificó una nueva propuesta curricular para la enseñanza de las ciencias experimentales, después un profesor (el investigador, autor de este trabajo) impartió algunas de las clases más a las

que yo asistí como observadora para comprobar la posibilidad real de poder realizarla y después yo misma las impartía siguiendo las orientaciones que se me daban.

Como los entrevistados señalan, el origen y desarrollo de la tutoría, por parte del investigador, fue diferente. José acepta después de haber oído, en su propio centro, en una reunión con todo el departamento la propuesta curricular presentada por el experimentador y, por las razones, señaladas anteriormente se procedió a experimentar. Dado su escepticismo sobre la práctica se procedió a diseñar una tutoría tipo “espejo” (Schön 1992), es decir el investigador hace de profesor en el aula del tutorado y éste asiste a todas ellas, como un observador participante, en la que interviene en ocasiones preguntando. Dado que tiene más grupos del mismo nivel y al considerar positiva la experiencia trata de repetir las mismas actividades y de la misma forma en los otros grupos. La experiencia le parece tan positiva que él, de forma individual, y de “motus proprio” aplica el método en sus clases de Matemáticas, materia en la que se considera que tiene un mayor dominio de los conceptos científicos, lo que le permite preparar las actividades del programa que utilizará. La acción realizada por este profesor es coincidente con los resultados de la investigación en la formación de profesores de Ciencias. Así, el trabajo de Tobin y Spinet (1991) indica que el primer obstáculo a la iniciación de un cambio didáctico en el profesorado de Ciencias es saber el contenido de lo que va a enseñar. Ésta es una primera condición necesaria, aunque no suficiente, para llevar a cabo cualquier innovación educativa (Gil 1993).

El caso de Ana es diferente. Ésta acude a un curso de formación de forma voluntaria y se muestra complacida por la posibilidad de poder participar en una experiencia de este tipo. En esta ocasión, dada la confianza que ella misma manifiesta sobre el método, la tutoría le sirve de apoyo para comentar y discutir

los programas de actividades propuestos. Esta ayuda la considera esencial para dirigir la actividad de los alumnos en clase ya que le permite responder a cuantas dudas o posibles dificultades le hayan podido surgir en el desarrollo práctico del método (Gil 1991). Por otra parte, en alguna ocasión, y como muestra el investigador asiste a su aula e imparte alguna sesión que es observada por la tutorada. Estas sesiones son grabadas en vídeo y posteriormente comentadas constructivamente.

4. Haz una valoración global de tu experiencia respecto a esta nueva manera de enseñar química (característica que te han llamado la atención, cambios respecto a la enseñanza habitual ...). En particular, indica ventajas e inconvenientes que encuentras en la nueva metodología.

José:

La evaluación global es muy positiva. Los cambios respecto a la enseñanza habitual son considerables.

Nuestros alumnos están acostumbrados a una forma de estudio en Ciencias muy memorístico pues les es más fácil aprender que razonar o discurrir. ¡Aquí creo que está la palabra fundamental!: “Discurrir”.

Esta nueva metodología tiene como objetivo principal hacer pensar, investigar, aprender de los errores.

Se sustituye, en parte, la explicación en la pizarra por ponerles más actividades para que nuestros alumnos investiguen, piensen ... No se les da todo hecho. Se les exige su opinión. Se intenta que aprendan por ellos solos.

Inconveniente de este tipo de enseñanza es que la programación de actividades tienen que estar muy bien estudiada. Una actividad fácil hace que la resuelvan rápidamente y no sirve para nada. Una actividad muy difícil hace que ante la gran dificultad se rindan.

Entre las ventajas destacan que al aprender significativamente le perduran los conceptos. No importa que sean menos que antes.

Ana:

Me parece mucho más interesante que el método magistral, tanto para los alumnos como para el profesor.

Los alumnos son más participativos aprenden a poner en juego su imaginación, su capacidad de observación, a razonar sobre diversos problemas... y el profesor tiene que ser creativo para poder llevar el ritmo de la clase, organizar los grupos, proponer actividades coherentes y no excesivamente complicadas, saber evaluar después de este proceso, hacer una crítica constructiva de sí mismo y estar dispuesto a cambiarlo en cualquier momento para mejorarlo.

Para mí, en estos momentos, la nueva metodología tiene muchas más ventajas que inconvenientes, estos últimos surgen de la inexperiencia en este mundo de la enseñanza, ya que se me escapan muchas cosas. Las ventajas fundamentales que he podido observar son:

-La enseñanza ya no tiene porqué ser rutina.

- Se aprende a trabajar en grupo.

- Se modifica la idea que los alumnos tienen hacia al química como una ciencia abstracta a la que no ven utilidad ni la relacionan con cosas cotidianas.

- Motiva más a los alumnos ya que se sienten como pequeños investigadores.

Ahora bien, todo esto es posible si el profesor está motivado y tiene ganas de trabajar ya que sino puede resultar muy duro y pesado de llevar a cabo.

La valoración por ambos entrevistados puede clasificarse como muy positiva. En concreto, José señala como una de las ventajas que de forma más clara ha encontrado en el método es ¡hacer discurrir o pensar!, lo cual es una de las finalidades esenciales de la enseñanza. También considera que tiene la ventaja

de conseguir aprendizajes más significativos, lo que constituye uno de los objetivos pretendidos en este trabajo. Menciona como inconvenientes “que la programación de actividades tiene que estar muy bien estudiada”, lo cual no es en sí un inconveniente de la metodología sino más bien una llamada dirigida al realizador de los programas y, por supuesto, al ejecutor de los mismos para que la secuencia y selección de actividades sea debidamente estudiadas antes de proponerlas en el aula.

A este respecto, debemos recordar que el programa de actividades debe ser siempre una propuesta susceptible de mejora diaria al comprobar la validez, dificultad, etc. de aquellas actividades propuestas, lo que obliga a su revisión después de la experiencia de cada año. Asimismo es aconsejable que la revisión se realice de forma colectiva entre el profesorado que haya utilizado el mismo programa de actividades ya que la crítica constructiva a su ejecución propiciará un perfeccionamiento del mismo.

Ana, señala sólo ventajas y entre ellas considera algunas de tanta importancia para la enseñanza y el aprendizaje como: mayor motivación y creatividad (“la enseñanza ya no es una rutina”) y una forma de trabajar estudiantil más cooperativa.

5. La vivencia de este nuevo método de enseñar química ¿Te ha cambiado la visión de cómo aprenden los alumnos? En caso afirmativo, describe el cambio sufrido .

José:

Mis esquemas van cambiando. De hecho estoy llevando esta metodología a mi clases de matemáticas. Estoy convencido de que tengo que conseguir que mis alumnos discurren, piensen. Entonces tengo que preparar actividades.

Además creo que mis alumnos han sufrido un cambio. Observo que están más interesados. Una cosa importante detectada es que no hay tanta diferencia entre los más y menos inteligentes. Quiero decir que alumnos que nunca se han interesado por nada dan contestaciones muy buenas que me sorprenden

Ana:

Por supuesto que sí, cambia totalmente como los alumnos van asimilando los diferentes conceptos.

Por el método tradicional, más o menos como yo lo hice el año pasado, los alumnos apenas participan en clase, simplemente se limitan a escuchar, copiar, preguntar y a estudiar para el examen una serie de conceptos que NO ENTIENDEN, pero que como están en el libro y los dice el profesor hay que sabérselos para aprobar la asignatura, pero que después olvidan completamente.

Ahora, se va más despacio, se reducen contenidos pero, yo creo, que los entienden y asimilan mejor y saben relacionarlos con cosas normales y cotidianas, pudiendo hacer uso en cualquier momento de los conocimientos adquiridos. Se trata de un método deductivo mucho más interesante desde el punto de vista de los resultados que se pueden obtener en el aprendizaje de los alumnos que, al fin y al cabo, son los que sufren todas las consecuencias de dichos cambios, consecuencias en este caso positivas.

José señala algunas observaciones interesantes detectadas como es el mayor interés de los alumnos y alumnas, y cómo, aquellos considerados menos interesados en el aprendizaje, participan ahora y ofrecen respuestas que le sorprenden, comprobando como su percepción de los alumnos catalogados por él como menos inteligentes va cambiando. Estas apreciaciones son de gran importancia en una enseñanza obligatoria como es la que estamos tratando. Un

dato que viene a significar la satisfacción por el método es que él, por iniciativa personal, decide transferir el método a la enseñanza de las Matemáticas. Es decir que coherente con la apreciación de la pregunta anterior en donde mencionaba la necesidad de proponer actividades adecuadas, sólo se atreve a hacerlo en aquella materia de cuyo dominio tiene un elevado autoconcepto.

Ana considera que el método produce cambios profundos en el aprendizaje del alumnado al considerar que ahora entienden más y no sólo memorizan conocimientos. Menciona la disminución de contenidos enseñados en este curso pero lo hace desde un punto de vista positivo. Sobre este particular la entrevistada mostró al entrevistador los apuntes que utilizaba el curso pasado en donde la amplitud del temario era evidente y que ella misma lo reconocía, pero al encontrárselo en el libro de texto que se utilizaba en su centros se consideraba en la obligación de “darlo todo” (conceptos como átomo, orbital atómico, estructura electrónica, enlace, factores que influyen en la velocidad de las reacciones, formulación y ajuste de reacciones, etc., eran algunos de los que explicaba), en consecuencia el cambio en el currículo experimentado fue drástico.

6. ¿En qué medida esta experiencia te ha llevado a criticar algunas de las ideas, creencias, actitudes o comportamientos en tu trabajo como profesor o profesora?

José:

Toda metodología nueva te hace pensar. ¿Es mejor o peor la anterior que la que yo ya estoy utilizando? Pregunta difícil de contestar. Yo no intentaría convencer a nadie. Sólo intentaré crear una inquietud.

Yo convencido con la nueva metodología, he cambiado. Intento en lo posible hacer pensar a mis alumnos. Yo me acuso de haber pecado al haber dado todo demasiado masticado, por lo que no dejaba al niño discurrir, equivocarse, etc.

Ana:

Cuando empecé a dar clases, tenía una idea más o menos formada de lo que era la nueva metodología por el curso del CAP recibido. Ahora bien, la idea que uno tiene no basta hay que saber ponerlo en práctica y conocer qué objetivos se quieren conseguir.

Me di cuenta que no era tan fácil como pensaba, tuve que cambiar desde el modo de hacer las programaciones hasta la forma de orientar las clases.

A José, a pesar de su gran experiencia, el método practicado le induce a darse cuenta de que anteriormente no hacía pensar a sus alumnos (“yo me acuso de haber pecado al haber dado todo demasiado masticado, por lo que no dejaba al niño discurrir..”) y a descubrir la importancia que para el proceso de aprendizaje tiene la construcción de los conocimientos por el propio aprendiz, plantear soluciones creativas a problemas, llegar a ser consciente de los posibles errores (“.. y equivocarse”).

Ara manifiesta su conocimiento del método debido a la experiencia adquirida en el CAP. Pero, a la vez, señala la necesidad de la tutoría para integrar la teoría en la práctica y poder aplicar la metodología en el aula. Ello le ha supuesto, confiesa, cambios profundos que van desde el modo de programar hasta la forma de orientar las clases, lo que, sin duda influyó en su actitud respecto a la tutoría propuesta y que ésta se desarrollase, desde el principio, sin resistencia y con unas expectativas, por su parte, muy positivas.

7. ¿Cuáles son los principales impedimentos o dificultades que tiene un profesor o profesora que desea mejorar su forma de enseñar ciencias?

José:

Las dificultades mayores que tiene un profesor para dar Ciencias es que siempre las hemos enseñado como a nosotros nos las han enseñado.

Después también es la influencia de los libros de texto que hace que el profesor se limite a transcribirlos.

Otro impedimento que debemos tener en cuenta es el tiempo libre para preparar el material de laboratorio si no se cuenta con un encargado del mismo que te ayude.

Ana:

Cuando uno desea mejorar su forma de enseñar, ya ha vencido el primer obstáculo que es “uno mismo”.

Uno de los impedimentos, pero que se supera, puede ser el número de alumnos por aula, ya que para hacer un trabajo por grupos o en el laboratorio es más fácil si el grupo no es muy numeroso.

Un impedimento muy importante es la falta de formación para llevar a cabo un proyecto de enseñanza distinto al que estábamos llevando, por eso es de agradecer que haya especialistas interesados en la formación del profesorado

Al comentar las dificultades o impedimentos para llevar a cabo una innovación encontramos muchos de los obstáculos indicados en la investigación sobre la formación del profesorado, así p.e.

*“Enseñamos (Ciencias) como nos las han enseñado”. Existencia de una formación ambiental que ha conformado a través de las experiencias del profesor un cuerpo de conocimientos teóricos didácticos no despreciables que justifican la resistencia al cambio didáctico de los profesores (Carrascosa, Furió y Gil, 1983); Gil 1991; Furió 1994).

*“Influencia de los libros de texto” esta dependencia resulta cada vez más exclusiva cuánto menos sabe el profesor la materia que tiene que enseñar (Tobin y Spinet, 1991; Gil 1991; Furió 1994).

*“Uno mismo ... deseo de mejora...” Influencia de las expectativas y actitudes positivas del profesorado hacia la enseñanza-aprendizaje, lo que condiciona a poner en cuestión el “pensamiento espontáneo docente” (Gil 1991, Furió 1994), como p.e. “el número de alumnos por aula”, “dedicación necesaria para preparar las prácticas”, etc.

Por último recojo unas valoraciones que de forma voluntaria ambos profesores hicieron al final y que se valoran por ellas mismas.

José:

Para terminar quisiera ilusionar a mis compañeros ¡Estos es bonito! Quiero decir que nuestra profesión es tan bonita y difícil que nadie puede estar seguro de nada. Por eso me gustaría que mis compañeros también decidiesen comenzar a probarlo por ejemplo en el tema de la naturaleza corpuscular de la materia y si no les gusta que lo dejen. No condenemos nada que no se haya previamente experimentado.

Por último creo que debemos sacar alumnos que piensen, aunque esto no interesa a parte de la sociedad. Que sean capaces de criticar, de elegir.. en fin, de ser libres.

Ana:

Yo comencé a enseñar química cuando no sabía nada sobre las ideas previas y otras cuestiones del proceso de aprendizaje. No sé si los alumnos llegaron a

comprender lo que es el modelo de gases o la naturaleza corpuscular de la materia, lo que si sé es que yo recordaba más o menos lo que me habían dado a mí. Lo dominaba, era sencillo porque no tenía que prepararme casi nada y prácticamente estaba dando lo mismo y es más lo estaba haciendo de la misma manera. En vez de avanzar había retrocedido 10 años en el tiempo simplemente porque no sabía por donde empezar con una nueva metodología y me daba miedo comenzar sin una orientación.

Por tanto, las opiniones de estos dos profesores muestran el profundo cambio que sobre el concepto del proceso de enseñanza-aprendizaje han experimentado, demostrando que cuando al profesorado se le permite poner los medios suficientes para que pueda conocer en todo su contexto, la metodología de enseñanza basada en el aprendizaje por investigación lo considera mucho más válido que el que venía asiduamente utilizando. Como final señalar que José utiliza los programas de actividades que se le facilita y él mismo se programa los suyos en Matemáticas, mientras Ana, se ha involucrado en actividades de investigación relacionadas con la mejora del proceso de aprendizaje partiendo del modelo propuesto.

4ª Parte

CONCLUSIONES

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La detección de la existencia de concepciones alternativas persistentes tanto en el alumnado como incluso en porcentajes elevados de profesorado que ha puesto de relieve la psicología cognitiva y la investigación en los últimos 20 años (Duit 1993) ha permitido cuestionar los fundamentos teóricos en los que se basa el proceso de enseñanza-aprendizaje por transmisión verbal que se aplica convencionalmente al enseñar conceptos científicos. Al mismo tiempo, esta crítica fundamentada ha dado lugar a una nueva orientación emergente sobre el aprendizaje de las ciencias conocida como constructivista. Esta nueva concepción teórica ha originado la aparición de modelos de enseñanza que al concretarse en acciones de aula están logrando una mayor eficacia del aprendizaje. Los primeros modelos que han surgido tuvieron como objetivo esencial el cambio conceptual (Posner et al 1982). Ahora bien, evaluaciones posteriores de estas enseñanzas detectaron que este cambio conceptual no es fácil y están poniendo en evidencia la necesidad de tener que contemplar otras componentes en el proceso de enseñanza. Así pues, se están formulando nuevos modelos que incorporan al cambio conceptual nuevos objetivos interdependientes como son el cambio metodológico y el actitudinal. Esta perspectiva más amplia permite interpretar los resultados de las investigaciones que se han realizado en otros campos del aprendizaje científico. Así, el problema del fracaso en la resolución de problemas

de lápiz y papel de Física y Química, especialmente, en aquellos ejercicios o problemas cuyos enunciados no son “reconocidos” por el estudiante (Martínez Torregrosa 1987, Reyes 1991), la forma en la que habitualmente se presentan y realizan las prácticas de laboratorio (Payá 1991), el papel y la forma que a la evaluación le asigna la enseñanza tradicional (Alonso 1994) o la desmotivación, falta de interés y las actitudes negativas hacia el aprendizaje (Vilches 1993) ha contribuido a esa formulación.

Estos nuevos modelos de enseñanza han de dar respuesta a todos estos problemas didácticos que se presentan en la práctica docente. Por esa razón, se hace necesario investigar estrategias de enseñanza que integren todas aquellas actividades de clase en dominios científicos concretos donde se tengan en cuenta todas estas aportaciones, como ha realizado Guisasola (1996) sobre la Electrostática. Nosotros hemos elegido el tema de la naturaleza corpuscular de la materia por ser tema esencial para la comprensión de la Química en la enseñanza secundaria como lo muestra tanto la Historia como los múltiples trabajos parciales que sobre este tema se han publicado (Brook et al 1983, Nussbaum 1985, Driver 1985, Stavy 1988, Novick y Nussbaum 1985, Llorens 1987, Furió y Hernández 1983, Pozo et al, 1991, etc). Hemos diseñado en este dominio el modelo de enseñanza/aprendizaje por investigación (Gil 1993, Furió 1994) y lo hemos aplicado en el aula en niveles correspondientes a la secundaria obligatoria tratando de contrastar si existía o no mejora del aprendizaje respecto del habitual.

Por tanto, las conclusiones de este trabajo se presentan en dos partes fundamentales diferenciadas. La primera se destina a resaltar las dificultades de aprendizaje más notables encontradas en la enseñanza habitual de la naturaleza corpuscular de la materia en secundaria y al no tener en cuenta las aportaciones hechas por la investigación didáctica. En la segunda parte, se presentan las conclusiones relativas a la evaluación del aprendizaje logrado siguiendo el modelo de enseñanza por investigación.

8.1 CONCLUSIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE HABITUAL DE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA.

Se ha visto que, en general, los alumnos y alumnas que han estudiado la naturaleza corpuscular de la materia durante varios cursos en la enseñanza secundaria tienen un conjunto de dificultades que se pueden jerarquizar de la siguiente manera:

a) Dificultades debidas a concepciones alternativas, fuertemente resistentes a la instrucción, basadas en una asociación de ideas cuyo núcleo es asumir que los gases son materiales que flotan y, por tanto, no “pesan”. Estas concepciones alternativas tiene su origen en la interpretación de las evidencias de “sentido común” que hacen los estudiantes en el mundo macroscópico cotidiano y se ha comprobado que son muy similares y coherentes con las existentes en épocas anteriores al origen de la Química como ciencia moderna conocida como “período de la Química neumática” (Furió et al 1987).

b) Dificultades menores debidas a la existencia de opiniones o ideas poco ligadas al pasar a pensar en términos cualitativos en la modelización de un gas. Es decir, las ideas alternativas de los estudiantes sobre la estructura interna de los gases no son consistentes cuando se les hace explicar sucesivamente las principales propiedades físicas de los gases como compresión, difusión y dilatación, En cambio, los estudiantes que han aprendido el modelo cinético muestran cierta estabilidad en sus ideas.

c) Dificultades conceptuales que vuelven a ser muy resistentes cuando tienen que extrapolar el modelo cinético de los gases a los sólidos y líquidos, sobre todo, no son fácilmente aprendidas aquellas ideas que van

contra el sentido común p.e. aceptar que en un sólido hay huecos o que sus partículas se mueven a temperatura ordinaria. El nivel de dificultad se eleva cuando tienen que relacionar cuantitativamente algunas propiedades macroscópicas (p.e. el volumen del gas) con otras pertenecientes al mundo submicroscópico (p.e. el número de partículas). Esto está de acuerdo con la importancia dada a estas relaciones macro-micro por la investigación reciente en didáctica de las Ciencias (Lin 1992).

Pasemos a continuación a explicitar más concretamente las conclusiones encontradas en cada uno de estos casos.

1) Se ha puesto de manifiesto que una mayoría de estudiantes no llegan a asumir la materialidad de los gases al mismo nivel que lo hacen sobre los líquidos o sólidos. Esta conclusión se ha puesto de manifiesto al comprobar cómo un porcentaje importante del alumnado desde 7º de EGB hasta COU consideraban que al transformarse un líquido (agua) en vapor se produce una pérdida de masa y de peso, a pesar de producirse el cambio en un recipiente cerrado. En concreto, prácticamente la mitad (51%) de los estudiantes de COU y el 75% de los de 1º de Magisterio así lo manifiestan. Por otra parte, la similitud de resultados entre la cuestión de la masa y el peso y la planificada para comprobar el principio de Pascal (ascenso del gas) indican que el peso lo asocian a la “sensación de fuerza hacia abajo” y no distinguen entre masa y peso.

2) La no aceptación de esa materialidad conduce, como se ha mostrado, a que el alumnado encuentre dificultades para aplicar correctamente leyes como la de la conservación de la masa, fáciles de memorizar, pero que no asumen cuando intervienen gases. Esta conclusión ha quedado puesta de manifiesto de forma muy clara al comprobar cómo el porcentaje de alumnos que no asumen conforme el

grado de intervención del gas en el proceso aumenta. Así, mientras un 23% del alumnado de 2º de BUP y un 19% de los de COU consideran que se produce una pérdida de masa al disolver azúcar (proceso sin intervención de gas) el porcentaje va aumentando gradualmente hasta alcanzar el 68% y el 51%, respectivamente, cuando se les presenta la vaporización.

3. Las dificultades sobre la participación de los gases en las reacciones también fueron puestos de manifiesto cuando 77 alumnos de 2º de BUP y 31 de 2º de Magisterio fueron invitados a explicar lo que sucedía cuando observaban cómo se quemaba una cinta de magnesio. El 80% de los de BUP y el 52% de Magisterio no tenían en cuenta al oxígeno y sólo 1% de BUP y el 6% de Magisterio fueron capaces de considerar que la masa aumentaría en esta oxidación. Estos resultados nos recuerdan, salvando las distancias contextuales, ideas que se presentaron en el período histórico conocido como “Química neumática” anterior al establecimiento de esta disciplina como ciencia moderna.

4) Otra consecuencia de las dificultades de aprendizaje que conlleva la inmaterialidad de los gases implica, tal como hemos mostrado, que los estudiantes no consideren al peso del aire -en particular a la presión atmosférica- como explicación de hechos conocidos de la vida cotidiana, tales como que no caiga una ventosa o el agua de una botella invertida. En efecto, esto se puso de manifiesto al invitar a estudiantes de 1º y de 2º de Magisterio a que, respectivamente, interpretarán, unos, cual es el motivo de que una ventosa quede pegado en la pared y, otros, porqué el líquido que llena una botella invertida en otro líquido no se vacía. En el primer caso ninguno de los consultados razonó haciendo mención de la presión del aire exterior y en el segundo sólo un 11% podían considerarse sus respuestas como correctas o casi correctas.

5) Otra conclusión ha sido comprobar cómo las ideas de los estudiantes respecto al modelo de gas y su aplicación son, a diferencia de las anteriores basadas en su experiencia vivencial, poco significativas y, consecuentemente, fáciles de modificar. Así, al pedir a los estudiantes, en una entrevista estructurada, que interpreten las propiedades de los gases se encontró que el 100% del alumnado de 7º de EGB y el 55% de los de 3º de BUP utilizaron modelos alternativos diferentes según la propiedad que se pretendía que justificasen. En cambio se comprobó que aquellos estudiantes que partían del modelo cinético no necesitaba cambiar. Al final se vio que el 78% se quedaban con el modelo cinético como el que mejor podía justificar todas las propiedades experimentales comprobadas, lo cual demuestra que una secuencia correcta de actividades conduce a que el propio alumno alcance las conclusiones del aprendizaje deseadas, lo que se utilizó en la hipótesis segunda.

6) También se han mostrado las dificultades en el aprendizaje submicroscópico y así se ha podido comprobar las que han tenido para aceptar rasgos del modelo corpuscular de la materia como son principalmente la existencia de huecos y el movimiento de las partículas que constituyen los cuerpos en el estado sólido. Esto se ha puesto de manifiesto al comprobar cómo sólo un 14% de los 103 alumnos de 2º de BUP encuestados relacionan la dilatación térmica de los sólidos con el movimiento de sus partículas. Esto es coherente con la opción del modelo elegido por los estudiantes en el que mayoritariamente el estático es el designado para el estado sólido y el cinético para el gas.

7) Se ha mostrado también las dificultades que tienen estudiantes incluso de niveles superiores para resolver cuestiones sobre reacciones en los que intervienen gases y cuya base teórica se basa en relacionar aspectos microscópicos del comportamiento gaseoso con los submicroscópicos. Basta

señalar que prácticamente la mitad (49%) de 77 estudiantes del CAP , en su mayoría licenciados en Ciencias Químicas, no fueron capaces de resolverlo correctamente.

8) Las conclusiones relatadas son como consecuencia de que la naturaleza corpuscular de la materia se introduce en la enseñanza secundaria sin tener en cuenta las dificultades de los estudiantes, de forma aproblemática y presentando imágenes incorrectas de la Ciencia tal como hemos mostrado al comprobar:

- cómo la mayoría del profesorado no es consciente de la existencia de dificultades en este tema y, consecuentemente, no propone actividades adecuadas para superarlas, esto es fruto del llamado pensamiento docente espontáneo (Gil 1993) según el cual se considera que “aprender es fácil” y, consecuentemente, “enseñar (este tema) es fácil”.

- y cómo los libros de texto no hacen explícitas estas dificultades por lo que no presentan referencias o comentarios históricos respecto a los problemas que se presentaron en la historia hasta llegar a aceptar que los gases son materia tan corpórea como los sólidos y los líquidos e introducen directamente el modelo cinético sin presentarlo como hipótesis que intenta solucionar el problema de la interpretación de las propiedades físicas de los gases.

8.2. CONCLUSIONES SOBRE LA MEJORA DEL APRENDIZAJE AL UTILIZAR UN MICROCURRÍCULO QUE TENGA EN CUENTA LAS APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA.

Las aportaciones de los últimos años a la investigación didáctica en diversos campos parciales del currículum de ciencias permite diseñar nuevos currícula que incorpore, de forma conjunta, las conclusiones de esas investigaciones que una vez aplicada en el aula mejorarán el aprendizaje. La

comprobación de esta hipótesis ha conducido a diseños de los que se derivan varias conclusiones:

9) Se han expuesto dos unidades didácticas para cada uno de los dos ciclos de la que se compone la etapa de la secundaria obligatoria que incorpora las investigaciones sobre la naturaleza corpuscular de la materia publicadas en los últimos años. La primera, destinada al alumnado de 12-14 años, presenta un programa dirigido fundamentalmente a que los estudiantes aprendan de forma comprensiva las propiedades macroscópicas comunes a los tres estados de la materia, así como aquellas que diferencian a los gases de los sólidos y líquidos. Todas estas propiedades son aprendidas a través de contrastaciones experimentales. El programa finaliza con un modelo cualitativo sobre el estado gaseoso que permita justificar las propiedades estudiadas.

El programa dirigido al alumnado 14-16 años, comienza revisando las propiedades diferenciadoras y el modelo cualitativo sobre los gases, éste es el cuerpo de conocimientos en el que se basan para la emisión de hipótesis sobre la relación cuantitativa entre las variables de las que depende la presión de un gas que deberán posteriormente comprobar, siguiendo la secuencia de actividades propuesta. También la extrapolación del modelo de gas a sólidos y líquidos forma parte del programa confeccionado para enseñar, de forma comprensiva, la naturaleza corpuscular de la materia.

10) También se ha mostrado que es posible organizar el aula de forma que se permita aplicar el modelo de aprendizaje por investigación a través de una grabación en video-tape. En concreto se comprueba cómo los estudiantes, organizados en grupos, debaten sobre las posibles explicaciones que permiten explicar, a través del modelo, las propiedades de los gases y cómo al final, la totalidad de los grupos confeccionan el modelo cinético.

11) Una primera aplicación del programa de actividades a un grupo experimental de 2º de BUP ha permitido comprobar la mejora en el aprendizaje de conceptos, al compararlo con el de otros grupos del mismo nivel. Así, mientras el porcentaje de respuestas, en la cuestión correspondiente a la conservación de la masa en la disolución de azúcar, es prácticamente la misma (77% y 80%) la diferencia en los otros ítems resulta apreciable; ya que frente al 56% de los grupos de control que responden correctamente a la conservación de la masa en la aspirina efervescente se pasa a un 90% en el grupo experimental y frente al 29% en la vaporización se pasa al 42%. La comparación con otros niveles superiores vienen a comprobar que los resultados del grupo experimental son similares a los de COU; es decir, que la aplicación de la estrategia de enseñanza eleva la comprensión de los conceptos a niveles de enseñanza superior.

También se observa mejoría en los procedimientos en los estudiantes del grupo experimental al comprobar la mejor disposición para resolver ejercicios con enunciados “no familiares”. En este caso frente al 30% de respuestas correctas de los grupos de control, se aumenta hasta el 68% entre los estudiantes del grupo experimental. Además el análisis de las respuestas denotan claramente una mayor riqueza en las justificaciones a las respuestas tanto entre los que responden correctamente, como en los que lo hacen incorrectamente encontrándose, por otra parte, que mientras ningún estudiante (0%) del grupo experimental deja el ejercicio en blanco, el 40% de los de control eligen esta opción.

12) También hemos mostrado cómo un porcentaje importante de los estudiantes que han seguido el programa de actividades han cambiado sus ideas sobre la justificación de las propiedades de los gases. Así, mientras prácticamente todos los alumnos creían que la dilatación de los gases era debido al aumento del

volumen de las partículas al transcurrir tres meses desde que habían finalizado el estudio del tema, el 55% había cambiado la idea y razonaba relacionándola con el aumento de la velocidad de las partículas.

13) Otra importante conclusión ha sido mostrar que la utilización de estrategias didácticas basadas en la enseñanza por investigación, mejora el aprendizaje proporcionado por otras convencionales relacionadas con la transmisión verbal de conocimientos, al comparar los resultados de los alumnos de 5 institutos con profesores diferentes que utilizan distintas estrategias de enseñanza. En concreto, mientras el 50% del alumnado instruido según estrategias convencionales responden correctamente a una cuestión relacionada con la conservación de la masa, en un proceso de combustión de metal, el porcentaje aumenta hasta el 80% en el alumnado en el que su profesor había utilizado los programas de actividades basados en el modelo por investigación.

Es decir, que en general, podemos decir que la utilización de estrategias basadas en el modelo de investigación mejora el aprendizaje. Ahora bien, los resultados alcanzados en alguno de los diseños empleados confirman que el cambio conceptual no es un proceso sencillo y algunas de las concepciones alternativas están tan fuertemente arraigadas que un porcentaje importante no logra modificarlas, confirmando de esa manera que en el aprendizaje son varios los factores que intervienen, algunos de los cuales se encuentran fuera del factor profesor/metodología, por lo que podemos afirmar que en el proceso de enseñanza-aprendizaje no existen panaceas y, probablemente, tampoco existe una metodología que sea la más adecuada para la totalidad de estudiantes lo que obliga a elegir aquella que consiga mejorar el aprendizaje en una mayor parte de los estudiantes. En ese sentido la investigaciones dirigidas a comprobar cual es ésta serán siempre trabajos que ayudarán a mejorar

paulatinamente (“sin prisas pero sin pausas”) la formación que los estudiantes reciben en las aulas.

14) Los alumnos y alumnas que han sido instruidos siguiendo metodologías de aprendizaje por investigación muestran un interés mayor hacia la ciencia y valoran mejor actividades como la comprensión de conceptos, la participación en clase o la realización de actividades.

15) Otro aspecto de este trabajo es que los estudiantes, que han recibido metodologías de enseñanza por investigación, muestran una satisfacción mayor cuando han sido instruidos por este tipo de metodologías que cuando lo han sido con otras convencionales, como lo muestra el hecho de que puntúen ésta con una nota media global significativamente mayor (3,4 frente al 6,4).

16) También, en este trabajo, se ha estudiado la opinión del profesorado respecto a la metodología propuesta llegándose a las conclusiones siguientes:

a) El profesorado considera que las estrategias didácticas basadas en la enseñanza a través del aprendizaje por investigación son más adecuadas que las convencionales basadas en la transmisión verbal de conocimientos científicos ya construidos, para aprender tanto conceptos como procedimientos. Así, en general, mientras las estrategias convencionales adquieren notas entre 3 y 4 la de aprendizaje por investigación obtiene entre 7 y 8.

b) El profesorado que lo experimenta reconoce que la metodología, además de conseguir un aprendizaje más significativo de conceptos, provoca un mayor interés hacia la ciencia y su aprendizaje (Notas entre 4 y 5 en los de estrategias convencionales y 7 a 8,5 en los otros).

17) También hemos mostrado como dos profesores, en activo, que tienen la oportunidad de experimentar tutorizados, independientemente de que tenga mayor o menor experiencia en la aplicación de metodologías convencionales, valora de forma muy positiva el método atribuyendo a ésta unas características que le hacen mucho más adecuado para enseñar Ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria.

No obstante estos buenos resultados, respecto a las actitudes hacia la ciencia y hacia la metodología propuesta, deben ser valorados con prudencia ya que, en una mayoría de las veces, han supuesto una novedad tanto para el profesorado que lo utilizaba como para el alumnado que lo recibía y, en general, las novedades supone salir de una posible monotonía que por ello puede valorarse de forma más positiva; en consecuencia, sólo cuando la metodología se convierta en el hábito usual para el que imparte y para el que lo recibe se podrá hacer valoraciones más rigurosas.

Por tanto, queda suficientemente comprobado que la sustitución del curriculum tradicional de la naturaleza corpuscular de la materia por otro que incorpore las aportaciones de la investigación didáctica en este tema y utilice metodologías de enseñanza basada en el aprendizaje por investigación resulta más eficaz para conseguir que el alumnado de secundaria logre aprender este tema de forma más significativa y con mayor interés, al ser un curriculum perfectamente extrapolable a la situación real que se vive en los centros de estos niveles.

8.3. PERSPECTIVAS SOBRE NUEVAS INVESTIGACIONES

Las conclusiones de este trabajo permiten abrir nuevas perspectivas de investigación relacionadas con el problema investigado que a continuación comentaremos.

Es lógico pensar que tras el tema de la naturaleza corpuscular, que hemos investigado, el de la composición de la materia desde el punto de vista química y el de la reacción química, completaría un núcleo conceptual base para la comprensión de la química en la educación secundaria. Las ideas del alumnado sobre estos aspectos así como las dificultades en la comprensión de conceptos como el de sustancia, elemento o compuesto o los que ya hemos comprobado respecto a la conservación de la masa tendrían que tenerse en cuenta para la elaboración del programa y la comprobación de la posible mejora en su aprendizaje

Por otra parte, los resultados alcanzados permiten albergar esperanzas sobre una posible eficacia en la enseñanza de secundaria. Ahora bien, la mayoría de los alumnos y alumnas de las muestras consideradas experimentales sólo han sido instruidos, siguiendo los programas de actividades basados en el aprendizaje por investigación, durante un año. Eso hace que todos los resultados deban ser analizados con mesura ya que se pueden dar condiciones favorable y desfavorables comparados con el resto. Así, la novedad del método puede haber servido como elemento motivador pero también pueden haber influido los inconvenientes de la adecuación. Además, otras investigaciones similares han mostrado también lo difícil que resulta el cambio conceptual. Por todo ello, una perspectiva de gran interés que se habrá, tras este trabajo, es investigar, la evolución en el aprendizaje cuando los alumnos sean instruidos a lo largo de los cuatro años de secundaria. Pensamos que la situación actual del nuevo sistema

educativo facilita este posible trabajo, al encontrarnos con una sola etapa de cuatro años ubicada en el mismo centro y de carácter obligatorio.

Un seguimiento de estos alumnos aportaría, sin lugar a dudas, datos mucho más significativos sobre la posible mejora en el aprendizaje de la Ciencias en el alumnado de Secundaria, tanto en conceptos como en procedimientos y en actitudes.

Los resultados en la cuestión referente a la hipótesis de Avogadro ha permitido detectar un elevado fracaso escolar (incluso entre los estudiantes del CAP) en las relaciones macro-micro que puede constituir un nuevo problema de investigación en el dominio concreto de las reacciones químicas entre gases. Es decir, de los resultados encontrados en la tesis respecto al problema en el que hay que obtener una fórmula (desconocida) a partir de las combinaciones volumétricas se desprende que no hay aprendizaje significativo de las hipótesis de Avogadro. Una posible idea a contrastar puede ser la existencia del posible paralelismo entre los problemas que tuvo que resolver la comunidad química en el S. XIX para llegar al concepto de molécula (sobre todo, en lo que respecta a la segunda hipótesis de Avogadro) y las posibles dificultades que pueden encontrar los estudiantes en esta misma idea. Es decir, habría que continuar este trabajo y llegar a las relaciones entre el volumen y el número de partículas de los gases para alcanzar, de esta forma, la idea de molécula (como partícula compleja) que de entrada resuelve la teoría atómico-molecular de Dalton. Recordemos a este respecto que en todo el siglo XIX la comunidad científica química estaba dividida entre atomistas y equivalentistas, según aceptaran la teoría atómico-molecular de Dalton-Avogadro o la teoría empírica anterior a ésta. Es decir que la profundidad en el concepto de molécula de los estudiantes es otra de las posibles nuevas investigaciones que este trabajo ha abierto.

Los resultados de la misma cuestión en el que mostraba las grandes dificultades de los estudiantes del CAP en resolver ejercicios basados en un

concepto supuestamente conocido por todos ellos, son un índice sobre la poca significatividad de algunos conceptos entre los propios universitarios por lo que la ampliación de investigaciones similares a ésta en el campo universitario vendría, sin duda, a mejorar la enseñanza también en estos niveles.

Los resultados del diseño correspondiente a la utilización de modelos, por parte de los estudiantes, en la interpretación de propiedades macroscópicas, puede ser, también, motivo de profundización para conocer cómo incorporan los modelos a su estructura cognitiva y cómo los utilizan para aprender conceptos científicos.

Por último, también pueden extraerse perspectivas referidas a la formación del profesorado. El cambio metodológico es costoso y difícil. La tradición, la formación inicial y el ambiente son dificultades para producir un cambio en la forma de enseñar habitual. Los resultados con los dos profesores sobre los que se realizó una formación basada en el seguimiento abre una perspectiva de trabajo en el que se busquen estrategias adecuadas y posibles para que las actividades formativas dirigidas al cambio metodológico logren este objetivo.

Si bien son muchas más las posibles perspectivas abiertas por esta investigación manifestamos nuestra confianza de que algunas de ellas, al menos, puedan llegarse a efecto por los numerosos investigadores que en potencia existen en las aulas. Sólo así tendremos la sensación de haber contribuido modestamente a esta gran tarea que es la de ayudar a formar mejor a los jóvenes.

ANEXOS

A continuación se exponen los programas de actividades utilizados como material escrito en la enseñanza del tema de la naturaleza corpuscular de la materia. Consta de dos programas dirigidos cada uno de ellos a los dos niveles diferentes de que consta la enseñanza secundaria (cuando se experimentaron correspondían a 8° de EGB y a 2° de BUP).

Cada uno de ellos contiene el programa de actividades dirigidos a los alumnos y otro, dirigido al profesorado, en el que se comentan éstas. El primero supone expresamente las actividades que deben ser resueltas por el alumnado tras discusión en pequeños grupos, organizadas siguiendo un hilo conductor que permita ir construyendo, progresivamente, los conocimientos que les conduzcan a comprender la naturaleza discontinua de la materia. El correspondiente al primer nivel tiene como objetivo principal lograr que el alumnado llegue a entender, a través del estudio de los gases, que la materia es discontinua, mientras que en el del segundo nivel se pretende que utilice el modelo para confirmarlo mediante su utilización en la determinación de las leyes cuantitativas que justifican el comportamiento gaseoso.

Tanto en uno como en otro, el programa de actividades que exponemos se reduce a las actividades dirigidas expresamente a conseguir los objetivos citados. Por ello, no se ha mostrado en el primero la secuencia de actividades previas en las que se procura que el estudiante llegue a comprender el concepto de materia y los tres estados físicos en los que ésta puede presentarse. Y, en la segunda, no se profundiza en aquellos aspectos de la teoría atómico-molecular que son deducidos como consecuencia de la estructura corpuscular de los gases, como p.e. la primera hipótesis de Avogadro.

Cada unidad viene acompañada de una guía dirigida al profesorado que va a utilizar estos programas dado que las intenciones didácticas de las actividades no aparecen, a veces, claras. También, los comentarios permiten precisar

ciertos aspectos didácticos y epistemológicos cuyo conocimiento permite al profesorado extraer una mayor rentabilidad de las actividades.

Después se presenta el anexo III en el que se relacionan los libros de texto.

ANEXO I

(material para los alumnos)

¿SON MATERIA LOS GASES?

INTRODUCCIÓN

En el estudio sobre la materia que llevamos realizado, la masa y el volumen son las dos propiedades que se han utilizado para definirla. Ahora bien, siempre se han utilizado sólidos o líquidos mientras que los gases se han dejado para un estudio posterior que es el que abordaremos en este tema.

A.1. ¿Por qué puede ser útil comenzar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento de los gases?

Una vez realizada la opción de iniciar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento físico de los gases, conviene recoger las ideas que ya tenemos respecto a dicho comportamiento -fruto, fundamentalmente, de nuestra experiencia cotidiana en el manejo del aire- que puedan servirnos de guía para un estudio más detenido.

A.2. Resumir las ideas y dudas que se posean acerca del comportamiento de los gases, como punto de partida para un estudio detenido de dicho comportamiento.

La discusión realizada hasta aquí ahora permite ahora establecer el siguiente esquema conductor para el estudio previsto sobre los gases y la estructura de la materia.

1. Profundización en el estudio del comportamiento físico de los gases. Con esta profundización intentaremos dar respuesta a cuestiones como la materialidad de los gases (¿ocupan volumen?, ¿pesan?...) y describir con mayor precisión su comportamiento.
2. Construcción, a título de hipótesis, de un modelo que explique cualitativamente el comportamiento de los gases y sea capaz de predecir hechos contrastables cuantitativamente.
3. Consideración de la posibilidad de extrapolación del modelo construido a toda la materia (explicando también el comportamiento de líquidos y sólidos).
4. Consideración de los problemas que quedan planteados tras el estudio realizado (y que convendría abordar en los temas siguientes).

Pasaremos, pues, a desarrollar este hilo conductor.

1. PROFUNDIZACIÓN EN EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LOS GASES.

En la introducción ya se han expresado algunas ideas y dudas sobre el comportamiento de los gases que conviene profundizar. En primer lugar, nos plantearémos qué pruebas o experiencias tenemos de que los gases puedan ser considerados tan materiales como los sólidos y líquidos, para después entrar a matizar el resto de las propiedades que se anotaron anteriormente. Comencemos por preguntarnos si se puede decir que los gases ocupan un espacio.

1.1. ¿Tienen volumen los gases?

A.3. Proponed algún experimento que permita mostrar que los gases ocupan volumen. A título de ejemplo: ¿cómo hacer ver que una botella o un vaso “vacíos” que están sobre la mesa están llenos de aire?

Así pues, los gases tienen volumen como los sólidos y líquidos si bien se parecen más a estos últimos en cuanto a la facilidad que tienen para fluir, de ahí que se les denomine comúnmente fluidos. Relacionada con esta tendencia a fluir, a escaparse, los gases ocupan todo el volumen disponible del recinto y ello complica tanto su recogida como la medida de volúmenes determinados de aquellos.

A.4. Una cualidad importante en los atletas es su capacidad pulmonar (volumen máximo de aire que puede introducir o expulsar una persona de sus pulmones por cada inspiración o expiración). ¿Cómo se puede recoger y medir este volumen de aire?

Pasamos a continuación a analizar si también los gases tienen masa

1.2. Pero ¿pesan los gases?

Por experiencia sabemos que al dejar caer sólidos y líquidos como una piedra o agua van a parar al suelo mientras que los gases tienden a flotar e ir hacia arriba. ¿Significa esto que los gases pesan?

A.5. Idead algún experimento que muestre que los gases no sólo ocupan un espacio sino que además tienen masa, es decir, que pesan.

Aceptado que los gases pesan podemos relacionar esta idea con el peso del aire atmosférico que nos envuelve y sugerir que dada la enorme altura de aire que tenemos encima de nuestras cabezas -aproximadamente 34 km- es de esperar que su peso sea muy elevado.

A.6. Proponed pruebas de que el aire atmosférico ejerce una gran presión sobre el fondo de dicho “mar de aire”.

A.7. ¿Por qué no se notan los efectos de la presión que hace el aire atmosférico sobre nosotros mismos?

El estudio del peso y, por consiguiente, de la presión atmosférica es un ejemplo histórico muy interesante donde se puede mostrar que el conocimiento científico se ha ido construyendo mediante debates y controversias y no por simple acumulación de ideas. En este caso la hipótesis de la existencia del “mar de aire” defendida por Evangelista Torricelli y Blas Pascal se contraponen a la hipótesis del “horror al vacío” que tendría la Naturaleza según otros investigadores. Controversia que fue clave para que se aceptase la existencia de partículas con huecos entre ellas; es decir, la naturaleza corpuscular

1.3. Los gases se pueden comprimir y expandir firmemente.

En el apartado 1.1 anterior ha quedado patente que tanto los gases como los líquidos se caracterizan por tener cierta movilidad y por ello se les llama comúnmente fluidos. Ahora bien, existen notables diferencias entre ambos tipos

de fluidos cuando se les comprime (aumento de presión) o se les deprime (disminución de presión).

A.8.- ¿Por qué normalmente se dice de los gases son fluidos “comprensibles” mientras a los líquidos se les llama fluidos “incomprensibles”? Proponed alguna experiencia que muestre esta diferencia.

Ahora bien, esta facilidad de los gases para disminuir o aumentar el volumen gracias a la realización de una presión externa no debe ocultar que también ellos están actuando sobre quién la hace. Veámoslo con más detalle

A.9.- Al apretar el émbolo de una jeringuilla que tiene aire encerrado se comprueba que la disminución de volumen que sufre el aire va haciéndose cada vez más difícil. Por otra parte, si se suelta el pistón se observa como retrocede hasta su posición inicial. ¿Cómo se explicaría que no se pueda comprimir más al principio y que recupere la posición inicial cuando dejamos de apretar

Pasemos, a continuación, a estudiar otra conocida propiedad de los gases como la variación de volumen (dilatación o contracción) o la variación de presión (aumento o disminución) que experimentan cuando se calientan o enfrían, respectivamente.

1.4. Los gases cambian de volumen o de presión cuando se les calienta o enfría.

A.10.- Proponed sencillos montajes o comentad algunas situaciones de la vida ordinaria donde se ponga en evidencia este fenómeno de la variación de volumen de un gas con la temperatura.

Ahora bien, es evidente que el calentamiento o enfriamiento de un gas que está encerrado en un recipiente rígido es evidente que no puede producir una dilatación o contracción de su volumen. En estos casos se puede observar claramente una variación de la presión del gas encerrado.

A.11.- Concebid experiencias u observaciones cotidianas que muestren la variación de la presión de un gas al aumentar o disminuir su temperatura.

Esta estrecha relación de la variación del volumen y/o de la presión con los cambios de temperatura nos es de gran utilidad pues puede ser aprovechada, p.e, para construir termómetros de gases, para explicar fenómenos naturales conocidos como el origen de las brisas marinas diurnas o nocturnas, etc. en los

que ahora no entramos pero que estudiaremos más adelante en el capítulo referente al calor.

Pasemos, finalmente, a mostrar que los gases se pueden mezclar con mucha facilidad, propiedad conocida como difusión.

1.5. Los gases se difunden con mucha facilidad.

A.12.- ¿Cómo probar que los gases se mezclan muy fácilmente entre sí?

1.5. Recapitulación de las propiedades de los gases.

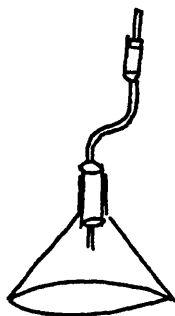
A.13.- Resumid, en un cuadro, aquellas propiedades más importantes de los gases que muestran su comportamiento unitario.

2. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO PARA LA ESTRUCTURA DE LOS GASES QUE EXPLIQUE SU COMPORTAMIENTO COMÚN.

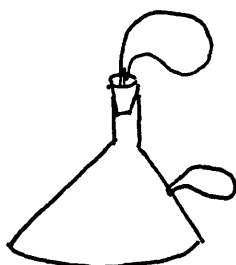
Una vez estudiado el comportamiento físico de los gases estamos ahora en disposición de afrontar el desafío que supone idear una hipótesis de trabajo en forma del modelo de gas que pueda explicar de forma coherente sus propiedades.

A.14.- Proponed, a título de hipótesis, cómo pueden estar formados los gases, de forma que permita explicar el conjunto de propiedades que hemos descrito, es decir: la facilidad con que se difunden y mezclan con otros gases; su gran compresibilidad y facilidad para expandirse (empujando, p.e., El émbolo de una jeringa); las variaciones de presión y/o volumen con la temperatura.

A.15. Con ayuda de una jeringa se extrae aire de un matraz . Suponiendo que pudierais ver con detalle el aire del matraz, dibujad un esquema de lo que se vería antes y después de sacar el aire.



A.16. Dos globos están conectados a un matraz como indica la figura adjunta. Explicad lo que ocurrirá al calentar el matraz; representad el aire antes y después de calentar.



3. ¿SE PUEDE EXTRAPOLAR EL MODELO CORPUSCULAR DE LA MATERIA GASEOSA A LOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS?

El estudio del comportamiento de los gases que se ha realizado nos ha llevado a concebir un modelo corpuscular para este tipo de materia y ahora vamos a ver en qué medida puede ser extensible a los sólidos y líquidos. Es decir, intentaremos probar la validez de las hipótesis corpusculares para interpretar también el comportamiento de los estados condensados de la materia. Primeramente nos referiremos a las posibilidades de transformación de los gases en líquidos y sólidos. La importancia de este estudio es obvia: si pudiéramos concluir que cualquier sustancia puede pasar de gas a líquido o sólido y viceversa, cabría pensar que también los líquidos y sólidos están formados por partículas.

Esta hipótesis exigiría, naturalmente, explicar cómo tiene lugar el paso de las partículas sueltas de un gas a las masas aparentemente compactas y continuas de un sólido o un líquido y poder dar cuenta de sus propiedades. Así pues, dedicaremos este apartado a:

- Estudiar si es posible licuar y solidificar cualquier gas (o viceversa)
- Explicar con el modelo de partículas cómo pueden lugar estos “cambios de estado”
- Intentar mostrar que el comportamiento de líquidos y sólidos se explica con la existencia de partículas.

3.1 ¿Se puede tener aire sólido o hierro gaseoso? Los cambios de estado de la materia

Normalmente solemos decir en lenguaje coloquial que el aire es un gas, el alcohol un líquido y el hierro un sólido y clasificamos los materiales y sustancias en cada uno de estos estados físicos. Por otra parte, sabemos que el agua pasa fácilmente a hielo o vapor según las condiciones que la sometemos. Pero, ¿estos cambios de estado que suceden en el agua pueden ser atributos a cualquier otra sustancia?

A.17. Proponed ejemplos, tomados de la vida cotidiana, de sustancias que puedan encontrarse en los distintos estados sólido, líquido y gaseoso.

A.18. Sugerir algún procedimiento para licuar el aire sin enfriarlo

Lo esencial de este estudio de los cambios de estado es tan sólo establecer la vinculación entre los gases y las otras formas de existencia de la materia. Una vez verificada dicha vinculación, se trata ahora de ver cómo pueden explicarse los cambios de estado con ayuda del modelo corpuscular.

A.19. Explicad, con ayuda del modelo corpuscular de los gases, cómo puede tener lugar el paso de gas a líquido.

Pasaremos finalmente a detenernos en contrastar la validez de esta estructura corpuscular que se está proponiendo para explicar algunas propiedades de los sólidos y los líquidos.

3.2 ¿Siguen habiendo huecos y moviéndose las partículas en líquidos y sólidos?

Los cambios físicos que se han visto en el apartado anterior nos han relacionado los diferentes estados de agregación de las sustancias y en todos ellos hemos utilizado el mismo modelo de partículas ideado en el estudio de los gases que hemos tenido que retocar muy ligeramente al admitir que las partículas pueden interaccionar entre sí llegando a unirse cuando las

condiciones de temperatura y presión lo permiten. Ahora continuaremos aplicando cualitativamente este modelo corpuscular para ver si es capaz de interpretar también las propiedades de los sólidos y líquidos como su dilatación, la difusión de líquidos miscibles, la disolución de sólidos en líquidos, etc.

A.20.- Proponed algunas observaciones y experiencias que apoyen la hipótesis de que en los sólidos y líquidos sigue habiendo partículas en movimiento y huecos en sus estructuras.

A.21.- Los sólidos y líquidos cuando se calientan o enfrían se dilatan o contraen, respectivamente. Esta dilatación y contracción suele ser muy pequeña (del orden de un 0.5% de su tamaño por cada 100° que sube su temperatura). Explicad esta propiedad con ayuda del modelo de partículas de la materia.

4. NUEVOS PROBLEMAS ASOCIADOS AL MODELO CORPUSCULAR

Como hemos visto se ha cubierto el principal objetivo del tema: imaginar un modelo de estructura para la materia que permitiera explicar de forma coherente el mayor número posible de propiedades de gases, líquidos y sólidos. Ahora bien, como era de esperar los nuevos conocimientos adquiridos tienen que superar nuevos desafíos que se les presentan en forma de problemas.

A.22.- Plantead nuevas preguntas que en el desarrollo del tema se hayan quedado sin contestar o nuevos problemas que puedan poner en cuestión este modelo corpuscular de la materia.

(comentarios para el profesorado)

¿SON MATERIA LOS GASES?

INTRODUCCIÓN

En el estudio sobre la materia que llevamos realizado, la masa y el volumen son las dos propiedades que se han utilizado para definirla. Ahora bien, siempre se han utilizado sólidos o líquidos mientras que los gases se han dejado para un estudio posterior que es el que abordaremos en este tema.

A.1. ¿Por qué puede ser útil comenzar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento de los gases?

Comentario A.1. *Con esta cuestión se pretende que los alumnos y alumnas lleguen a intuir el interés de ocuparse de los gases debido a que su comportamiento físico es más simple, menos variado que el de los sólidos o líquidos, hasta el punto de que resulta difícil reconocer diferencias entre gases distintos. Ello puede ser una buena ocasión para referirse a cómo los científicos comienzan planteándose situaciones elementales -incluso artificialmente simplificadas- que les resulten asequibles y les permiten “despegar” en el conocimiento. De hecho, cuando la atención de los estudios se dirigió hacia la posible explicación del comportamiento de los gases, los avances en la comprensión de la estructura de la materia fueron muy notables e incluso cabe esperar que ocurra en el caso de los alumnos.*

Una vez realizada la opción de iniciar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento físico de los gases, conviene recoger las ideas que ya tenemos respecto a dicho comportamiento -fruto, fundamentalmente, de nuestra experiencia cotidiana en el manejo del aire- que puedan servirnos de guía para un estudio más detenido.

A.2. Resumir las ideas y dudas que se posean acerca del comportamiento de los gases, como punto de partida para un estudio detenido de dicho comportamiento.

Comentarios A.2. *Los alumnos disponen ya de suficiente experiencia acumulada para referirse a la facilidad con que los gases se comprimen y expanden, al efecto de los “calentamientos” sobre el volumen y la presión, la facilidad con que se mezclan, etc. Por otra parte, al subrayar la conveniencia de que expresen también sus dudas se favorece la expresión de preconcepciones bien estudiadas en la literatura (como la idea de que los gases no pesan, no son materiales como pueden ser los sólidos, etc.) Las ideas expuestas adquieren así el estatus de hipótesis de trabajo en las que convendrá profundizar.*

La discusión realizada hasta aquí ahora permite ahora establecer el siguiente esquema conductor para el estudio previsto sobre los gases y la estructura de la materia.

1. Profundización en el estudio del comportamiento físico de los gases. Con esta profundización intentaremos dar respuesta a cuestiones como la materialidad de los gases (¿ocupan volumen?, ¿pesan?...) y describir con mayor precisión su comportamiento.
2. Construcción, a título de hipótesis, de un modelo que explique cualitativamente el comportamiento de los gases y sea capaz de predecir hechos contrastables cuantitativamente.
3. Consideración de la posibilidad de extrapolación del modelo construido a toda la materia (explicando también el comportamiento de líquidos y sólidos).
4. Consideración de los problemas que quedan planteados tras el estudio realizado (y que convendría abordar en los temas siguientes).

Pasaremos, pues, a desarrollar este hilo conductor.

1. PROFUNDIZACIÓN EN EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LOS GASES.

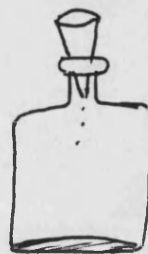
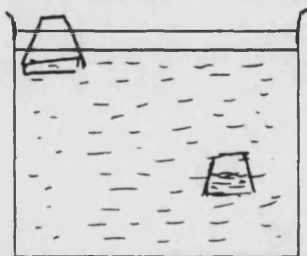
En la introducción ya se han expresado algunas ideas y dudas sobre el comportamiento de los gases que conviene profundizar. En primer lugar, nos plantearemos qué pruebas o experiencias tenemos de que los gases puedan ser considerados tan materiales como los sólidos y líquidos, para después entrar a matizar el resto de las propiedades que se anotaron anteriormente. Comencemos por preguntarnos si se puede decir que los gases ocupan un espacio.

1.1. ¿Tienen volumen los gases?

A.3. Proponed algún experimento que permita mostrar que los gases ocupan volumen. A título de ejemplo: ¿cómo hacer ver que una botella o un vaso “vacíos” que están sobre la mesa están llenos de aire?

Comentarios A.3. *La transparencia e intangibilidad de los gases y, en particular, del aire que nos envuelve, hace que pasen inadvertidos para los alumnos y más aún cuando las situaciones presentadas carecen de dinamismo. Así, por ejemplo, cuando se pregunta a los alumnos y alumnas cómo saben que hay aire a nuestro alrededor contestan refiriéndose a los efectos que produce el viento (aire en movimiento) o dando, incluso, argumentos más sofisticados como p.e. que las nubes viajeras requieren para su flotación un medio (el propio aire) más ligero y extenso que ellas. En relación a las respuestas dadas a esta actividad se proponen experiencias elementales que demuestran que el aire o un gas siempre está ocupando el volumen del recipiente en el que se halla. Ejemplos de experiencias que se pueden proponer y realizar son las siguientes:*

a) *Hundir un vaso boca abajo en un recipiente con agua y ver que el agua no llena el vaso. Esta observación fácilmente realizable (p.e. en un lavabo) permite también mostrar la salida del aire, con tan sólo girar lentamente el vaso hacia arriba. La experiencia puede hacerse más “vistosa” con ayuda de un corcho, tal como muestra la figura-1. Una variante consiste en poner pegado al fondo de vaso pequeño un papel y comprobar que por mucho que se hunda no se moja.*



b) *Otro experimento que se puede realizar con una botella consisten en acoplarle un embudo al cuello de aquella (fig-2) de manera que el cierre sea hermético poniendo plastifica, cera, arcilla, ... y, a continuación, añadir agua al embudo. A las preguntas ¿por qué no cae agua en el interior de la botella? ¿qué podría hacerse para que el agua bañera al fondo de la botella? se*

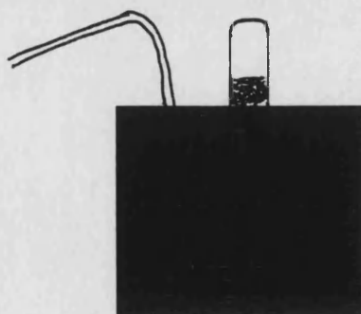
responde con la salida del aire encerrado como p.e. pinchar la plastilina o la cera pegada al cuello de la botella y el embudo.

c) Otra experiencia consiste en introducir a presión el émbolo separado de una jeringa dentro de la misma pero que ha sido cerrada antes con plastilina o, mejor, a la llama.

Así pues, los gases tienen volumen como los sólidos y líquidos si bien se parecen más a estos últimos en cuanto a la facilidad que tienen para fluir, de ahí que se les denomine comúnmente fluidos. Relacionada con esta tendencia a fluir, a escaparse, los gases ocupan todo el volumen disponible del recinto y ello complica tanto su recogida como la medida de volúmenes determinados de aquellos.

A.4. Una cualidad importante en los atletas es su capacidad pulmonar (volumen máximo de aire que puede introducir o expulsar una persona de sus pulmones por cada inspiración o expiración). ¿Cómo se puede recoger y medir este volumen de aire?

Comentarios A.4. La recogida y medida del volumen de cualquier gas o del aire se puede hacer sobre el líquido en el que previamente se sabe que no se disuelve. El montaje solicitado constaría de un tubo acodado introducido en una probeta calibrada e invertida que está llena de agua. Así soplar por dicho tubo se desplaza agua y se puede medir esta capacidad torácica (fig-3). Con relación a esta cuestión de la recogida de gases, puede introducirse una actividad de relación Ciencia-Técnica-Sociedad cuyo objetivo sea buscar información sobre el almacenamiento de gas ciudad, combustible doméstico empleado en las grandes urbes. A continuación procedería la visita a una fábrica de gas para observar los grandes tanques cilíndricos donde se almacena este gas a baja presión sobre agua.



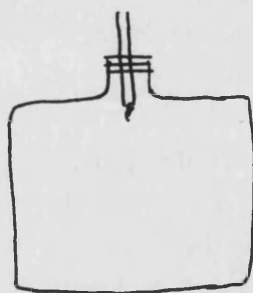
Pasamos a continuación a analizar si también los gases tienen masa

1.2. Pero ¿pesan los gases?

Por experiencia sabemos que al dejar caer sólidos y líquidos como una piedra o agua van a parar al suelo mientras que los gases tienden a flotar e ir hacia arriba. ¿Significa esto que los gases pesan?

A.5. Idead algún experimento que muestre que los gases no sólo ocupan un espacio sino que además tienen masa, es decir, que pesan.

Comentarios A.5. *La ligereza (baja densidad) habitual de la materia gaseosa es la que hace pensar al alumnado que no tiene masa como los sólidos y líquidos. Esta característica es la que dificulta la operación de pesar los gases y de ahí que normalmente sea más cómodo utilizar el volumen cuando se quiere medir una cantidad de gas determinada. No obstante, los alumnos y alumnas aferran bocetos de ensayos cuantitativos que permiten mostrar que los gases pesan. Para ello indican que hay que meter mayor de aire en un volumen dado de la que hay habitualmente. Proponen, p.e., que se puede tomar una cámara de bicicleta vacía y previamente pesada, llenarla de aire con el bombín y comprobar después su peso. También se pueden idear diseños alternativos como p.e. metiendo una de las válvulas que hay en estos neumáticos en un tapón de goma que ajusta muy fuertemente a un frasco y, a continuación, introducir aire con el bombín teniendo buen cuidado de que no salte el tapón. Otro podría basarse, por el contrario, en la extracción de aire de uno de estos recipientes poniendo la misma válvula de neumático invertida (fig-4) o con ayuda de una aguja hipodérmica de 50 o 100 mL de capacidad.*



Puede realizarse una experiencia muy vistosa colgando dos globos hinchados de los extremos de una ligera varilla sujeta de su centro por un hilo, de forma que quede equilibrada. Basta entonces pinchar uno de los globos para que se constate como dicha balanza se desequilibra

notoriamente, debido al mayor peso del globo hinchado. Todas estas experiencias pueden contribuir a hacer patente el peso de los gases. No obstante, como la asociación de ideas entre la flotabilidad de los gases y falta de peso (ligereza) es bastante persistente se puede utilizar para evaluar si ha cambiado o no este esquema conceptual, bien al final del tema o bien en ese momento, una actividad donde se comparen el peso de un frasco cerrado que tiene un poco de éter líquido con el mismo frasco con el éter vaporizado (fig-5). También puede realizarse en el laboratorio teniendo buen cuidado de poner poco líquido.



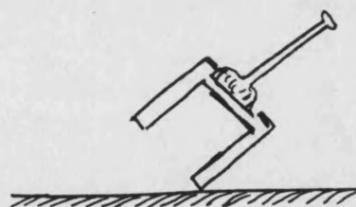
Aceptado que los gases pesan podemos relacionar esta idea con el peso del aire atmosférico que nos envuelve y sugerir que dada la enorme altura de aire que tenemos encima de nuestras cabezas -aproximadamente 34 km- es de esperar que su peso sea muy elevado.

A.6. Proponed pruebas de que el aire atmosférico ejerce una gran presión sobre el fondo de dicho “mar de aire”.

A.7. ¿Por qué no se notan los efectos de la presión que hace el aire atmosférico sobre nosotros mismos?

Comentarios A.6. y A.7. La cuestión del peso de los gases puede asociarse, como hacemos aquí, al estudio de la presión ejercida por la atmósfera gaseosa que envuelve la Tierra. Ello puede dar lugar a numerosas experiencias que los alumnos y alumnas pueden concebir en parte o buscar en algún texto, tales como:

- a) Llenar completamente una botella con agua; se invierte al tiempo que se sumerge en el agua de un vaso o la pila de casa y se observa que no cae (fig-6);
- b) apretar una ventosa sobre una baldosa o una plancha de plástico duro donde queda pegada (fig.7)



Son posibles otras muchas experiencias como p.e. intentar levantar (sin éxito), mediante un golpe, una regla cubeta por una simple hoja de periódico bien extendida sobre una superficie lisa; o impedir, mediante una simple cartulina la caída del agua contenida en un vaso invertido; o la realización a pequeña escala del experimento de “los hemisferios de Magdeburgo” (fig-8), etc.



En relación a A.7 se puede argumentar que nuestra situación en el fondo del mar de aire es similar a la de los peces sumergidos en el mar que al ser presionados por igual en todas direcciones y sentidos no sienten los efectos de la elevada presión.

El estudio del peso y, por consiguiente, de la presión atmosférica es un ejemplo histórico muy interesante donde se puede mostrar que el conocimiento científico se ha ido construyendo mediante debates y controversias y no por simple acumulación de ideas. En este caso la hipótesis de la existencia del “mar de aire” defendida por Evangelista Torricelli y Blas Pascal se contraponen a la hipótesis del “horror al vacío” que tendría la Naturaleza según otros investigadores. Controversia que fue clave para que se aceptase la existencia de partículas con huecos entre ellas; es decir, la naturaleza corpuscular

1.3. Los gases se pueden comprimir y expandir firmemente.

En el apartado 1.1 anterior ha quedado patente que tanto los gases como los líquidos se caracterizan por tener cierta movilidad y por ello se les llama comúnmente fluidos. Ahora bien, existen notables diferencias entre ambos tipos de fluidos cuando se les comprime (aumento de presión) o se les deprime (disminución de presión).

A.8.- ¿Por qué normalmente se dice de los gases que son fluidos “comprensibles” mientras a los líquidos se les llama fluidos “incomprensibles”? Proponed alguna experiencia que muestre esta diferencia.

Comentarios A.8.- *Los alumnos no tienen dificultades en dar respuestas cualitativas acertadas aunque lo hacen en su lenguaje habitual, así p.e. proponen comparar esta diferencia de comportamiento con sendas jeringuillas cerradas y llenas de aire y agua, respectivamente. Otros hacen mención de mostrar la compresibilidad de los gases con ayuda de un bombín. Al mismo tiempo, conviene insistir en que la existencia de equilibrio supone aceptar que la fuerza y presión externas realizadas son compensadas por la fuerza y presión que ejerce el gas, resaltando el hecho de que los gases pueden ejercer presiones muy elevadas y solicitando de los alumnos ejemplos ilustrativos (“el elefante subido sobre una pelota”, “el voluminoso turista durmiendo en la colchoneta de aire”, “la enorme carga de un camión soportada por los neumáticos”, “las explosiones de algunos depósitos”...). Para profundizar en este aspecto, se puede proponer una actividad como la siguiente.*

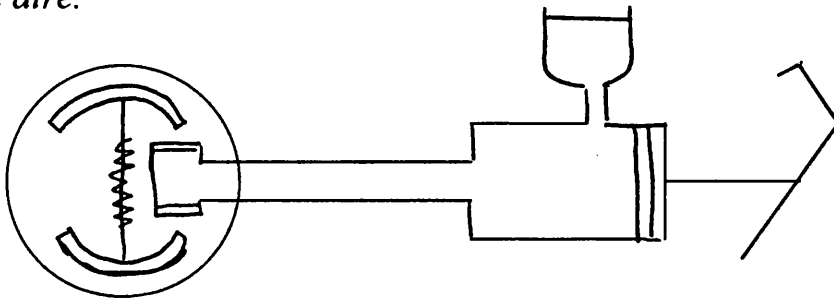
Ahora bien, esta facilidad de los gases para disminuir o aumentar el volumen gracias a la realización de una presión externa no debe ocultar que también ellos están actuando sobre quién la hace. Veámoslo con más detalle

A.9.- Al apretar el émbolo de una jeringuilla que tiene aire encerrado se comprueba que la disminución de volumen que sufre el aire va haciéndose cada vez más difícil. Por otra parte, si se suelta el pistón se observa como retrocede hasta su posición inicial. ¿Cómo se explicaría que no se pueda comprimir más al principio y que recupere la posición inicial cuando dejamos de apretar

Comentarios A.9.- *Esta actividad es fácilmente interpretada señalando que el gas encerrado hace fuerza o presión sobre todas las paredes del recipiente en el que está encerrado igualando en todo momento la presión exterior. También los alumnos comprenden fácilmente que al quitar el dedo la presión del gas (que ha llegado a ser mucho mayor que la atmosférica) haga ascender*

el émbolo hasta llegar de nuevo a la posición inicial. Conviene poner de relieve esta diferencia de comportamiento entre los líquidos y los gases en cuanto a la compresibilidad, debido a los efectos negativos que se producen cuando se introduce gases en condiciones de líquidos. Algunos ejemplos que se pueden proponer son los siguientes:

A) Se puede solicitar el funcionamiento de unos frenos hidráulicos ante un esquema como el de la figura 9 y predecir que ocurriría si debido a la existencia de un poro en la conducción de líquido de frenos se formara una burbuja de aire.



B) En Medicina cuando se habla de una “embolia gaseosa” se quiere significar la introducción de una burbuja de gas en el interior de una vaso sanguíneo (como la formación de una burbuja de nitrógeno en las venas de un submarinista que asciende sin haber esperado el tiempo aconsejado para una descompesación suficiente). ¿Cómo se pueden explicar los efectos perjudiciales para la salud de una de estas embolias? Se puede dar una explicación sencilla de estos hechos aceptando que la formación o introducción de burbujas gaseosas en estas conducciones pueden cortar la transmisión del aumento de presión a través del líquido ya que al llegar a ellas se amortigua totalmente debido a que el gas es compresible y, por tanto, se reduce el tamaño de las burbujas.

Pasemos, a continuación, a estudiar otra conocida propiedad de los gases como la variación de volumen (dilatación o contracción) o la variación de presión (aumento o disminución) que experimentan cuando se calientan o enfrían, respectivamente.

1.4. Los gases cambian de volumen o de presión cuando se les calienta o enfría.

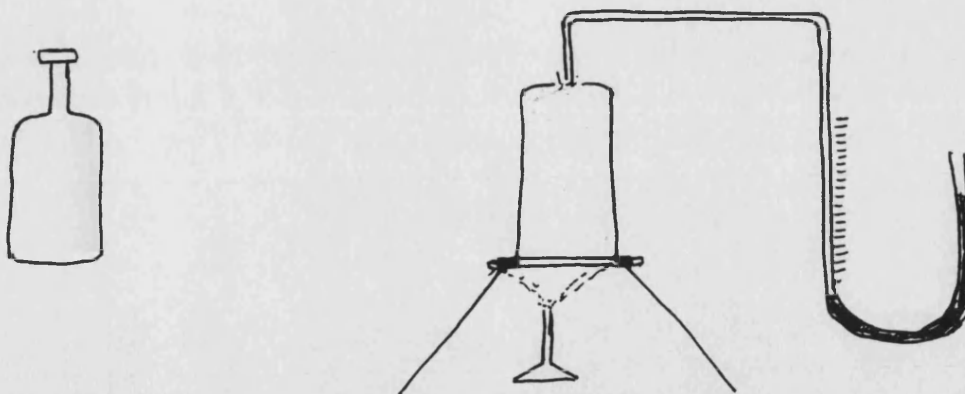
A.10.- Proponed sencillos montajes o comentad algunas situaciones de la vida ordinaria donde se ponga en evidencia este fenómeno de la variación de volumen de un gas con la temperatura.

Comentarios A.10.- *Aquí se trata de introducir cualitativamente la dilatación de gases fomentando la diversidad de explicaciones pero, al propio tiempo, precisando los análisis que se hagan. P.e. es muy fácil que el alumnado no distinga entre las tres situaciones que se pueden dar en las explicaciones que propongan, a saber: a) que al aumentar la temperatura del gas (p.e, aire) aumente su volumen (siempre que se mantenga constante la presión del gas) que es el caso que ahora se aborda en esta actividad; b) que al calentar el gas aumenta su presión (siempre que se mantenga constante el volumen); c) que el cambio de temperatura se traduzca en una variación simultánea de presión y volumen. Este es, sin duda el caso más general. La situación se convierte así en una ocasión para realizar un ejercicio elemental de control de variables que obliga a considerar el fenómeno en toda su complejidad y a comprender el peligro de los reduccionismos: no se puede decir, p.e., lo que le ocurrirá al volumen cuando calentamos, si no tenemos en cuenta lo que sucede con la presión. En esta A.10 el alumnado suele proponer experiencias como aproximar un globo a un foco calorífico (radiador, plancha caliente...) teniendo buen cuidado de que no se queme la goma o, por el contrario, meter el globo muy hinchado en el congelador de la nevera, etc... En todas ellas se muestra cualitativamente que los gases cuando se calientan o se enfrían pueden aumentar o disminuir su volumen teniendo siempre presente la necesidad de explicitar que se mantenga constante la presión.*

Ahora bien, es evidente que el calentamiento o enfriamiento de un gas que está encerrado en un recipiente rígido es evidente que no puede producir una dilatación o contracción de su volumen. En estos casos se puede observar claramente una variación de la presión del gas encerrado.

A.11.- Concebid experiencias u observaciones cotidianas que muestren la variación de la presión de un gas al aumentar o disminuir su temperatura.

Comentarios A.11.- *Los alumnos y alumnas proponen ensayos sencillos como comparar la dureza del balón de fútbol muy hinchado y caliente con la que tiene cuando se guarda por la noche; comprobar en una gasolinera la presión manométrica de las ruedas del coche antes y después de recorrer un largo trayecto, etc...*



Otra puede consistir en colocar sobre el cuello mojado de una botella vacía (fig. 9a) una moneda ligera, de manera que cierre herméticamente la boca de salida. Al rodear la botella con las manos se observará que la moneda empieza a dar saltos. Los alumnos han de llegar a comprender que, mientras se mantiene cerrada la botella aumentará la presión del aire encerrado hasta que vence el peso de la moneda, escapando aire, con lo que la presión vuelve a disminuir, etc.

Esta estrecha relación de la variación del volumen y/o de la presión con los cambios de temperatura nos es de gran utilidad pues puede ser aprovechada, p.e, para construir termómetros de gases, para explicar fenómenos naturales conocidos como el origen de las brisas marinas diurnas o nocturnas, etc. en los que ahora no entramos pero que estudiaremos más adelante en el capítulo referente al calor.

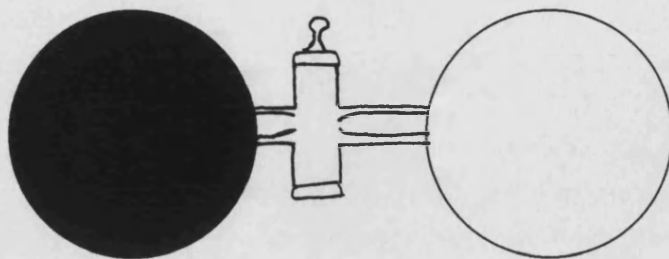
Pasemos, finalmente, a mostrar que los gases se pueden mezclar con mucha facilidad, propiedad conocida como difusión.

1.5. Los gases se difunden con mucha facilidad.

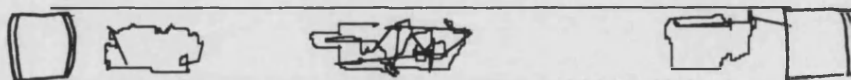
A.12.- ¿Cómo probar que los gases se mezclan muy fácilmente entre sí?

Comentarios A.12.- Esta propiedad es la que menos mencionan los alumnos cuando exponen sus ideas acerca del comportamiento de los gases. Sin embargo, una vez planteada la cuestión, conciben montajes experimentales adecuados y proponen diseños experimentales utilizando sustancias gaseosas que sean perceptibles bien por su color, por su olor, o por cualquier otra propiedad que sea detectable sensiblemente en aquellos puntos del espacio al que se supone que van a llegar trazas de dichos gases. Uno de estos diseños puede consistir en tomar dos recipientes interconectados por una llave de paso como los de la figura 10 e introducir en uno de ellos un gas coloreado (p.e., el obtenido al calentar suavemente unos cristales de yodo) y en el otro

aire. La difusión se observará fácilmente al abrir la llave. También se pueden utilizar esencias aromáticas volátiles que sean de olores agradables o, por el contrario, disoluciones de gases fétidos como el sulfuro de hidrógeno para mostrar esta difusión.



Otro ensayo bastante espectacular que puede presentar el profesor para que lo interpreten consiste en introducir en cada uno de los extremos de un tubo largo, colocado horizontalmente, sendos algodones empapados en ácido clorhídrico y amoníaco. Inmediatamente se observará la formación en su interior de una nube blanca de polvo de cloruro de amonio en suspensión que se extenderá a lo largo del tubo (fig.12).



Este ensayo es de interpretación compleja para los alumnos ya que no solamente hay difusión de los reaccionantes, sino también proceso químico con formación de una nueva sustancia, pero se trata de centrarse tan sólo en la evidente facilidad con que se difunden las emanaciones gaseosas del amoníaco y del HCl.

1.5. Recapitulación de las propiedades de los gases.

A.13.- Resumid, en un cuadro, aquellas propiedades más importantes de los gases que muestran su comportamiento unitario.

Comentarios A.13.- Esta recapitulación tienen por objeto efectuar una síntesis de todo el apartado 1 del tema donde se destaquen aquellas propiedades que son convergentes a la hora de mostrar la simplicidad del

comportamiento macroscópico de los gases y, más en concreto, la difusión, la compresión-expansión y la dilatación-contracción térmicas de los gases.

2. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO PARA LA ESTRUCTURA DE LOS GASES QUE EXPLIQUE SU COMPORTAMIENTO COMÚN.

Una vez estudiado el comportamiento físico de los gases estamos ahora en disposición de afrontar el desafío que supone idear una hipótesis de trabajo en forma del modelo de gas que pueda explicar de forma coherente sus propiedades.

A.14.- Proponed, a título de hipótesis, cómo pueden estar formados los gases, de forma a explicar el conjunto de propiedades que hemos descrito, es decir: la facilidad con que se difunden y mezclan con otros gases; su gran compresibilidad y facilidad para expandirse (empujando, p.e., El émbolo de una jeringa); las variaciones de presión y/o volumen con la temperatura.

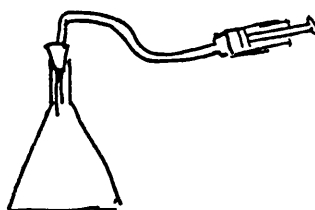
Comentario A.14.- *Se inicia aquí la construcción de un modelo que permita, a título de hipótesis, explicar de forma coherente todas y cada una de las propiedades reseñadas. La mayoría del alumnado sugiere, de entrada, un modelo corpuscular o atomista si bien, en general, no tiene los mismos atributos que el modelo cinético manejado por los científicos. Así p.e. se suele presentar a veces un modelo de partículas que carece de vacíos grandes entre aquellas y que tiene problemas para explicar el movimiento de las partículas (Novick y Nussbaum 1981, Furió y Hernández 1983). No obstante, estas ideas no deben interpretarse como concepciones alternativas fuertemente estables sino como simples construcciones tentativas puntuales que tratan de dar una respuesta "local" a una propiedad determinada. Así se suele presentar un modelo alternativo lleno de partículas que explica el fenómeno de la compresión y dilatación atribuyendo plasticidad y elasticidad a las propias partículas no sólo frente al aumento de presión sino también frente a una variación de la temperatura (Llorens 1988). De ahí que sea necesario incidir en la búsqueda de coherencia del modelo para explicar todas las propiedades. De este modo, las experiencias de difusión permiten concebir un modelo de partículas en movimiento ya que hay que explicar que el amoníaco se huele a distancia al poco tiempo de abrir el frasco, etc. Y la facilidad que tienen los gases para comprimirse puede ilustrar la existencia de grandes espacios vacíos en el propio volumen del gas. Respecto a la presión que hace el gas sobre las paredes, que puede llegar a ser, como ya se ha visto, muy alta, los*

alumnos pueden interpretarla como la fuerza que hacen millones y millones de partículas dotadas de elevadas velocidades al colisionar sobre aquellas. También se suele presentar cierta confusión respecto al concepto de presión interna del gas como resultado de los choques interiores entre las propias partículas. La asociación de la temperatura con la velocidad de las partículas es muy utilizada por los alumnos y alumnas (si bien establecen una correlación directa entre ambas magnitudes) y por ello no tienen grandes dificultades en la explicación de la dilatación térmica de los gases. De hecho, puede constatarse que cuando se solicita una interpretación global de la compresión, dilatación térmica y difusión de los gases, las alumnas y alumnos abandonan las ideas contradictorias con el modelo elemental cinético de los gases sostenidas inicialmente (Furió y Hernández 1988). En definitiva, el modelo de gas ideal permite interpretar más coherentemente el comportamiento físico de los gases que otras concepciones alternativas y los mismos alumnos pueden resumir al final del debate de esta actividad sus características particulares, tales como:

- una estructura en forma de partículas de tamaño insignificante frente al volumen en el que se hallan, que se encuentra, pues, prácticamente vacío;*
- estas partículas con elevadas velocidades originan una presión al chocar con lo que se interponga a su paso;*
- la temperatura del gas está relacionada con la velocidad (media) de las partículas (más bien, es con la energía cinética promedio del conjunto de partículas); se entiende que en este gas supuestamente ideal son despreciables las interacciones atractivas entre sus partículas debidas a su elevada velocidad.*

Ahora convendrá detenerse en comprobar en qué medida el alumnado ha sustituido sus ideas iniciales, mediante la propuesta de diversas situaciones en cuyas interpretaciones se deberá aplicar este modelo de partículas. Comenzaremos planteando dos sencillas actividades (tomadas del interesante libro de Mtnes-Torregrosa et al, 1991).

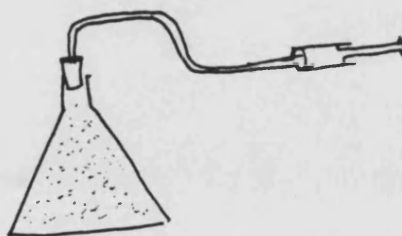
A.15. Con ayuda de una jeringa se extrae aire de un matraz (fig 12). Suponiendo que pudierais ver con detalle el aire del matraz, dibujad un esquema de lo que se vería antes y después de sacar el aire.



A.16. Dos globos están conectados a un matraz como indica la figura adjunta. Explicad lo que ocurrirá al calentar el matraz; representad el aire antes y después de calentar.



Comentarios A.15 y A.16.- Se trata de actividades destinadas a poner a prueba la coherencia con que los alumnos aplican el modelo corpuscular que acaban de construir y, más aún, a facilitar el afianzamiento y mejor comprensión de dicho modelo. Como explican Gil et al (1991), es frecuente que en la actividad A.15 algunos alumnos hagan dibujos como el de la figura 15.



Cabe insistir entonces en la idea de movimiento caótico de las partículas en todas direcciones, que lleva a su distribución homogénea en todo el recipiente (lo que era necesario para explicar la difusión, etc).

También en la actividad A.16. pueden aparecer errores, cómo no dibujar partículas en los globos deshinchados, o suponer que sólo se hincha el globo superior "puesto que el aire caliente va hacia arriba". Se puede ahora profundizar en el modelo, proponiendo su utilización para realizar predicciones susceptibles de contrastación experimental (incluyendo algún tratamiento semicuantitativo elemental).

Una vez se ha propuesto un modelo de partículas para la estructura de los gases no debemos olvidar que la meta que perseguíamos desde el comienzo de este estudio era buscar una estructura común a toda la materia independientemente de la forma o estado físico con que se presente

3. ¿SE PUEDE EXTRAPOLAR EL MODELO CORPUSCULAR DE LA MATERIA GASEOSA A LOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS?

El estudio del comportamiento de los gases que se ha realizado nos ha llevado a concebir un modelo corpuscular para este tipo de materia y ahora vamos a ver en qué medida puede ser extensible a los sólidos y líquidos. Es decir, intentaremos probar la validez de las hipótesis corpusculares para interpretar también el comportamiento de los estados condensados de la materia. Primeramente nos referiremos a las posibilidades de transformación de los gases en líquidos y sólidos. La importancia de este estudio es obvia: si pudiéramos concluir que cualquier sustancia puede pasar de gas a líquido o sólido y viceversa, cabría pensar que también los líquidos y sólidos están formados por partículas.

Esta hipótesis exigiría, naturalmente, explicar cómo tiene lugar el paso de las partículas sueltas de un gas a las masas aparentemente compactas y continuas de un sólido o un líquido y poder dar cuenta de sus propiedades. Así pues, dedicaremos este apartado a:

- Estudiar si es posible licuar y solidificar cualquier gas (o viceversa)
- Explicar con el modelo de partículas cómo pueden lugar estos “cambios de estado”
- Intentar mostrar que el comportamiento de líquidos y sólidos se explica con la existencia de partículas.

3.1 ¿Se puede tener aire sólido o hierro gaseoso? Los cambios de estado de la materia

Normalmente solemos decir en lenguaje coloquial que el aire es un gas, el alcohol un líquido y el hierro un sólido y clasificamos los materiales y sustancias en cada uno de estos estados físicos. Por otra parte, sabemos que el agua pasa fácilmente a hielo o vapor según las condiciones que la sometemos. Pero, ¿estos cambios de estado que suceden en el agua pueden ser atributos a cualquier otra sustancia?

A.17. Proponed ejemplos, tomados de la vida cotidiana, de sustancias que puedan encontrarse en los distintos estados sólido, líquido y gaseoso.

A.18. Sugerir algún procedimiento para licuar el aire sin enfriarlo

Comentarios A.17 y A.18. *Los alumnos pueden referirse a situaciones tan distintas como la fusión del hierro en una siderúrgica, a las botellas de gas líquido (visible en algunos encendedores transparentes), la condensación de vapor de agua en una superficie fría, etc.*

Se pueden completar estas observaciones haciendo que los propios alumnos fundan naftalina, azufre, metales como el estaño y el plomo (¡atención a sus peligrosos vapores!), o sublimen alguna sustancia como el yodo o la misma naftalina, etc. Las referencias a estos distintos ejemplos puede ir acompañada de consideraciones sobre el interés práctico de estos procesos, sobre el peligro de almacenamiento de gases combustibles, etc.

La actividad A.21. lleva a considerar la influencia de la presión (evitando la asociación exclusiva de la licuación de gases con el enfriamiento).

Lo esencial de este estudio de los cambios de estado (que se retomará en el tema 11 sobre los fenómenos caloríficos) es tan sólo establecer la vinculación entre los gases y las otras formas de existencia de la materia. Una vez verificada dicha vinculación, se trata ahora de ver cómo pueden explicarse los cambios de estado con ayuda del modelo corpuscular.

A.19. Explicad, con ayuda del modelo corpuscular de los gases, cómo puede tener lugar el paso de gas a líquido.

Comentario A.19.- *Las actividades A.20 y A.21 han permitido ver que los gases pueden licuarse tanto por enfriamiento como comprimiéndolos. Ambas formas pueden explicarse con ayuda del modelo de partículas, si se introduce la hipótesis adicional de la existencia de fuerzas de unión entre las partículas (que en los gases no serían apreciables debido a las enormes distancias existente entre las partículas y a sus elevadas velocidades). En el primer caso, los alumnos comprenden que el enfriamiento del gas supone disminuir la velocidad de las partículas hasta el punto de que las fuerzas atractivas no sean despreciables frente al desorden propio de las partículas de los gases y lleguen finalmente a enlazarse. Por otra parte, la compresión a que se somete al gas obliga cada vez a que el volumen en el que se mueven las partículas sea cada vez más pequeño y se favorezca así la interacción entre ellas llegando también a unirse. Así pues, el modelo corpuscular parece que pueda interpretar esta formación de líquidos siempre que se admita la existencia de interacciones entre las partículas y se produzca una elevada reducción de los extensos vacíos que se suponía existían en la estructura de los gases.*

Pasaremos finalmente a detenernos en contrastar la validez de esta estructura corpuscular que se está proponiendo para explicar algunas propiedades de los sólidos y los líquidos.

3.2 ¿Siguen habiendo huecos y moviéndose las partículas en líquidos y sólidos?

Los cambios físicos que se han visto en el apartado anterior nos han relacionado los diferentes estados de agregación de las sustancias y en todos ellos hemos utilizado el mismo modelo de partículas ideado en el estudio de los gases que hemos tenido que retocar muy ligeramente al admitir que las partículas pueden interactuar entre sí llegando a unirse cuando las condiciones de temperatura y presión lo permiten. Ahora continuaremos aplicando cualitativamente este modelo corpuscular para ver si es capaz de interpretar también las propiedades de los sólidos y líquidos como su dilatación, la difusión de líquidos miscibles, la disolución de sólidos en líquidos, etc.

A.20.- Proponed algunas observaciones y experiencias que apoyen la hipótesis de que en los sólidos y líquidos sigue habiendo partículas en movimiento y huecos en sus estructuras.

A.21.- Los sólidos y líquidos cuando se calientan o enfrían se dilatan o contraen, respectivamente. Esta dilatación y contracción suele ser muy pequeña (del orden de un 0.5% de su tamaño por cada 100° que sube su temperatura). Explicad esta propiedad con ayuda del modelo de partículas de la materia.

Comentario A.20 y A.21.- *En A.23 se pueden proponer experiencias de difusión al mezclar líquidos teniendo en cuenta que uno de ellos sea coloreado y que se han de mezclar con mucho cuidado; también se pueden realizar las experiencias de disolución de sólidos iónicos fuertemente coloreados como el permanganato o el dicromato potásicos. En ambos tipos de ensayos se percibe muy claramente como se difunden a través del disolvente. Aquí el alumnado recurre a los argumentos ya empleados para explicar la difusión en gases tratada en el apartado 1.5 que vienen a confirmar el movimiento de las partículas disueltas en la estructura del líquido. La interpretación lleva a aceptar la existencia de huecos en esta última que permitan el movimiento percibido. En el caso de sólidos se pueden mencionar la formación de aleaciones, donde se presenta el mismo fenómeno aunque sea una disolución sólida. Otra experiencia que se puede planificar y realizar en un laboratorio escolar es la disolución de metanol en agua y*

comprobar que la suma de volúmenes iniciales de los líquidos es un poco menor que el volumen de la mezcla. la anomalía contraria se produce al disolver ácido sulfúrico en agua. Es evidente que estos son ejemplos problemáticos que requieren interpretaciones estructurales. Una explicación plausible sería aquella que imaginara la posible ubicación de las pequeñas partículas de metanol en algunos de los huecos que presenta una estructura tan abierta como la del agua, y en consecuencia, se obtiene otra más compacta y de menor volumen. Conviene indicar que no sólo es un problema espacial sino también debido a las interacciones entre las partículas. Al mismo tiempo, también es cierto que la disolución de otras sustancias en agua pueden tener un efecto contrario de aumento de volumen

Se puede concluir, pues, que el movimiento sigue siendo consustancial para las partículas pero debido a las atracciones de las que les rodean, se restringe su libertad de desplazamiento en forma de movimientos vibratorios estrechamente ligados a la temperatura del sistema material. Así pues, al elevar su temperatura aumentará la intensidad de las vibraciones y con ellas la sección eficaz ocupada por cada partícula.

4. NUEVOS PROBLEMAS ASOCIADOS AL MODELO CORPUSCULAR

Como hemos visto se ha cubierto el principal objetivo del tema: imaginar un modelo de estructura para la materia que permitiera explicar de forma coherente el mayor número posible de propiedades de gases, líquidos y sólidos. Ahora bien, como era de esperar los nuevos conocimientos adquiridos tienen que superar nuevos desafíos que se les presentan en forma de problemas.

A.22.- Plantead nuevas preguntas que en el desarrollo del tema se hayan quedado sin contestar o nuevos problemas que puedan poner en cuestión este modelo corpuscular de la materia.

Comentario A.22.- *La hipótesis atómica o corpuscular de la materia propuesta en el estudio del tema es un marco teórico de indudable valor que nos permite avanzar más fácilmente hacia el conocimiento ya que favorece el planteamiento de problemas de mayor complejidad a los que todavía no hemos dado respuesta. Así p.e. ya tenemos una idea para abordar la explicación general de cómo están constituidas las sustancias y cómo ocurren los cambios físicos pero quedan por explicar cambios más radicales como los químicos en que unas sustancias se transforman en otras diferentes. Al propio tiempo, podemos preguntarnos si estas partículas que conforman las sustancias tendrán o no estructura interna, es decir, cómo estarán formadas*

para poder llegar a explicar las propiedades características de cada de una de los más de dos millones de sustancias conocidas.

Otra pregunta a contestar por el modelo atómico de la materia que hemos iniciado aquí se refiere a buscar las causas de las interacciones tanto entre las partículas cuando forman los estados condensados de la materia como las existentes entre los supuestos componentes que unidos conforman las propias partículas y donde convergerán los problemas originados en dominios de estudio próximos como el del calor o más remotos como el de la electricidad que se generaron históricamente mucho más tarde.

Otra pregunta fundamental que suele plantearse es la de ¿qué es lo que mantiene las partículas en movimiento (siendo así que los objetos se paran a menos que les empujemos)? Ello remite al estudio de la Mecánica que se realizará en el 2º Ciclo. Insistimos en la conveniencia de resaltar estos problemas, que remiten a algunos de los temas siguientes (o a los estudios del Ciclo Superior), haciendo hincapié en su importancia e implicaciones en la transformación de nuestras vidas y de la vida sobre el Planeta.

ANEXO II

(material para el alumnado)

LA ESTRUCTURA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

En cursos precedentes se estudió la materia comprobando que se presentaba en tres estados: sólidos, líquidos y gases. Se abordaron problemas relacionados con la materialidad del último de los estados citados, puesto que las apreciaciones cotidianas les hace lo suficientemente diferentes como para entender las dificultades que históricamente se produjeron hasta alcanzar la idea de que éstos son tan materiales como los sólidos o líquidos.

También se elaboró un modelo basado en la existencia de partículas en movimiento gracias a los huecos existentes. El tema que vamos a estudiar profundizará en el modelo considerando aspectos cuantitativos, no tratados en los otros cursos, que conducirán a elaborar una expresión que permita relacionar las variables de las que depende el estado de un gas. Esta profundización en el modelo será útil para entender posteriormente la interpretación de las transformaciones químicas, objeto fundamental de estudio en este curso.

El guión que se desarrollará es el siguiente:

1. Revisión del modelo corpuscular de la materia.
2. Las leyes de los gases.
3. Otras aplicaciones del modelo.

1. REVISIÓN DEL MODELO CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

Como ya se vio en los cursos pasados, el estado gaseoso es el que mejor favorece el estudio de la naturaleza corpuscular de la materia. Por esta razón comenzamos el estudio de este tema revisando el modelo elaborado en cursos precedentes.

A.1. Describir un modelo de los gases que sea capaz de justificar las propiedades de estos. En concreto debéis especificar: a) Cómo se encuentran las partículas en el interior del recipiente; b) qué hay entre ellas y c) qué sucede cuando chocan.

A.2. Describir un modelo corpuscular para los sólidos que sea capaz de justificar la dilatación.

2. LAS LEYES DE LOS GASES.

A continuación pasaremos a comprobar cómo el modelo elaborado es capaz de predecir el comportamiento de los gases a través de las leyes que sirven para justificarlo.

A.3. Partiendo del modelo propuesto indicar a qué se debe la presión que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente y, a título de hipótesis, señalad los factores de los que depende.

A.4. Profundizar en las hipótesis anteriores indicando el tipo de dependencia de cada una de las variables señaladas.

A.5. Diseñar un montaje experimental que permita contrastar la relación entre la presión y el volumen de un gas encerrado en un recipiente.

A.6. Proceder a realizar la experiencia y analizar los resultados obtenidos.

A.7. En su experimento original Boyle midió la longitud L (directamente proporcional al volumen) de una de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio. Con este procedimiento obtuvo la siguiente tabla:

$L(\text{cm})$	50,0	45,0	40,0	35,0	30,0
$h(\text{m})$	0,0	8,3	18,0	32,1	50,0

Sabiendo que la presión atmosférica es de 750 mm Hg, proceder al análisis de dichos resultados.

A.8. Dada la dificultad que existe en la realización de este montaje en un laboratorio escolar, proceder a analizar los resultados de la tabla de valores adjunta que se han obtenido al medir el volumen ocupado por una masa de un gas a presión constante, para dichas temperaturas:

$t(^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30	40	50	60
$V(\text{cc})$	9100	9430	9770	10100	10400	10800	11100

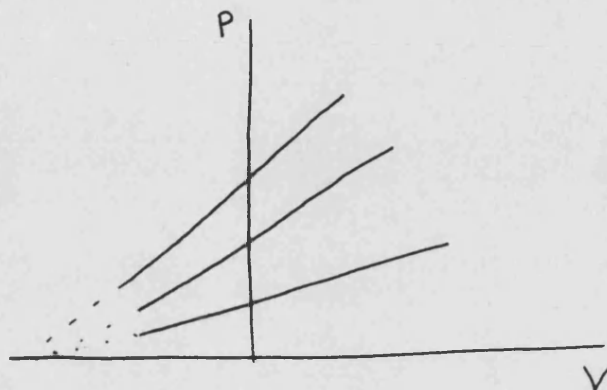
A.9. La ley de los gases deducidas se conoce como “de los gases perfectos” porque parte de unas simplificaciones que, limitan su validez. Recordar cuáles son esas simplificaciones y justificar por qué no se cumple, más que de forma aproximadamente, cuando la aplicamos a los gases reales.

2.2. OTRAS APLICACIONES DEL MODELO.

Como ya hemos visto el modelo corpuscular de los gases nos ha servido para poder predecir el comportamiento de éstos. A continuación veremos como también es válido para justificar otros hechos.

A.10. Aplicar el modelo a la justificación de los cambios de estado que se producen al variar la temperatura. (Podéis utilizar como concreto el caso de agua).

A.11. Como ya hemos estudiado en el punto anterior, la variación del volumen y de la presión de una cantidad determinada de gas en función de la temperatura viene dada por una recta del tipo de las representadas en las gráficas adjunta (las rectas A, B y C representan cantidades iniciales distintas de gas.)



a) Interpreta la línea de puntos y explica el significado del cero absoluto razonado la imposibilidad teórica de alcanzarlo. b) Según esta gráfica ¿es posible que las partículas estén totalmente en reposo?

A.12. Justifica que un líquido se evapore sin alcanzar la temperatura teórica de ebullición.

A.13. Emite hipótesis sobre los factores de los que dependerá la velocidad de evaporación y proponer alguna experiencia que permita comprobar la validez de las mismas.

Para finalizar este tema deberemos comprobar que el modelo emitido para los gases es extrapolable también a los otros estados de la materia.

A.14. Al mezclar 50 mL de agua con 50 mL de alcohol, el volumen total es inferior a 100 mL. Comprobarlo y explicar, acudiendo al modelo, la contracción del volumen experimentada.

A.15. Los sólidos al aumentar la temperatura se dilatan. Proponer una experiencia sencilla que permita comprobar la dilatación de los sólidos y proponer, en base al modelo, una explicación coherente con el modelo cinético de gases elaborado.

A.16. La transformación de hielo en agua y ésta en vapor es un hecho común observado diariamente. Razona los cambios de estado producidos en el agua mediante el modelo cinético.

ANEXO II

(material para el profesorado)

LA ESTRUCTURA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

En cursos precedentes se estudió la materia comprobando que se presentaba en tres estados: sólidos , líquidos y gases. Se abordaron problemas relacionados con la materialidad del último de los estados citados, puesto que las apreciaciones cotidianas les hace lo suficientemente diferentes como para entender las dificultades que históricamente se produjeron hasta alcanzar la idea de que éstos son tan materiales como los sólidos o líquidos.

También se elaboró un modelo basado en la existencia de partículas en movimiento gracias a los huecos existentes. El tema que vamos a estudiar profundizará en el modelo considerando aspectos cuantitativos, no tratados en los otros cursos, que conducirán a elaborar una expresión que permita relacionar las variables de las que depende el estado de un gas. Esta profundización en el modelo será útil para entender posteriormente la interpretación de las transformaciones químicas, objeto fundamental de estudio en este curso.

El guión que se desarrollará es el siguiente:

1. Revisión del modelo corpuscular de la materia.
2. Las leyes de los gases.
3. Otras aplicaciones del modelo.

1. REVISIÓN DEL MODELO CORPUSCULAR DE LA MATERIA.

Como ya se vio en los cursos pasados, el estado gaseoso es el que mejor favorece el estudio de la naturaleza corpuscular de la materia. Por esta razón comenzamos el estudio de este tema revisando el modelo elaborado en cursos precedentes.

A.1. Describir un modelo de los gases que sea capaz de justificar las propiedades de estos. En concreto debéis especificar: a) Cómo se encuentran las partículas en el interior del recipiente; b) qué hay entre ellas y c) qué sucede cuando chocan.

Comentarios A.1. *La actividad deberá comenzar recordando las propiedades que caracterizan a los gases y cómo el modelo es capaz de justificarlas. En concreto, el modelo deberá justificar que los gases:*

- ocupan todo el volumen del recipiente que lo contiene,
- se difunden y se mezclan,
- se pueden comprimir y expandir fácilmente y
- se dilatan mucho más que los sólidos y líquidos.

Para ello deberán especificar que entre las partículas no existe nada, es decir la “existencia del vacío” lo que permite a éstas moverse de forma desordenada produciéndose choques entre ellas y con las paredes del recipiente, considerándose éstos elásticos.

Es conveniente insistir en la existencia del vacío por ser uno de los conceptos que históricamente más costó admitir y cuya investigación didáctica ha puesto de manifiesto que también entre los alumnos y alumnas se produce esta circunstancia.

A.2. Describir un modelo corpuscular para los sólidos que sea capaz de justificar la dilatación.

Comentarios A.2. *La aceptación de huecos en los sólidos resulta más difícil de admitir que en los gases, pues las observaciones conducen a considerar partículas juntas y en reposo, en este caso la dilatación la pueden justificar considerando que “cada partícula se dilata” -coherente con los resultados de investigaciones educativas según las cuales los estudiantes mantienen la idea de atribuir a las partículas las propiedades macroscópicas de las sustancias-. El objetivo de esta actividad es precisamente la de reincidir en las ideas del*

alumnado y ofrecer una justificación de un hecho experimental, como la dilatación, para dar una respuesta coherente basándonos en un modelo de partículas en movimiento para lo cual deberá comentarse el movimiento vibratorio en torno a la posición de equilibrio en el que se encuentran las partículas en estado sólido.

2. LAS LEYES DE LOS GASES.

A continuación pasaremos a comprobar cómo el modelo elaborado es capaz de predecir el comportamiento de los gases a través de las leyes que sirven para justificarlo.

A.3. Partiendo del modelo propuesto indicar a qué se debe la presión que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente y, a título de hipótesis, señalad los factores de los que depende.

A.4. Profundizar en las hipótesis anteriores indicando el tipo de dependencia de cada una de las variables señaladas.

Comentarios A.3 y A.4. *Se comienza por solicitar de los alumnos y alumnas que a partir de la descripción del modelo relacione la presión interna ejercida por el gas con el número de choques que se producirá sobre las paredes. A continuación no les resulta difícil considerar que el volumen, la temperatura y el número de partículas encerradas en un recipiente serán las variables de las que dependerá la presión.*

No obstante debe considerarse la posibilidad de mencionar otras que, en principio, son razonables como el tamaño de las partículas y su masa. El tamaño lo considera porque cuanto mayor sea éste más choques se considera que se producirá. Para eliminar esta variable hay que recordar el modelo elaborado según el cual el volumen de las partículas del gas son despreciable frente al del recipiente.

En cuanto a la masa se considera que cuanto mayor sea ésta, si la velocidad se mantiene constante, la fuerza del impacto será mayor. Sin embargo, tal como indica la Teoría Cinética de los gases, esta situación no es posible pues la temperatura está relacionada directamente con la energía cinética por lo que dos gases a la misma temperatura nunca tienen la misma velocidad media, las partículas del más pesado son más lentas.

En cuanto a la A.4 resulta fácil emitir como hipótesis que la presión:

a) Aumentará con la temperatura: lo que les conduce a indicar que la relación matemática será $P/T = \text{cte}$, (para N y V constantes),

b) Disminuirá con el volumen: es decir que la relación matemática compuesta será $P.V = \text{cte}$, (para T y N constantes),

c) Aumentará con N , es decir que la relación matemática probable será $P / N = \text{cte}$ (para T y V constantes),

Por supuesto que también pueden llegar a proponer la relación $V/T = \text{cte}$, relación que interesa tratar por que la utilizaremos posteriormente.

En la puesta en común se llegará a la expresión: $P.V = K.N.T$ que engloba a todas las anteriores y en la que K es una constante común para todos los gases.

A.5. Diseñar un montaje experimental que permita contrastar la relación entre la presión y el volumen de un gas encerrado en un recipiente.

Comentarios A.5. *El diseño propuesto debe contemplar la forma de variar el volumen y medir éste y la presión correspondiente en cada caso. Lograr variar el volumen contenido en un gas no resulta difícil al pensar en una jeringa, no obstante la medida de la presión no resulta tan evidente y provoca discusión entre los grupos de alumnos y alumnas. El diseño que les vamos a ofrecer, en la puesta en común, consistirá en utilizar pesas iguales que se colocarán verticalmente sobre el émbolo. Otra posibilidad será la de situar una botella de plástico e ir añadiendo volúmenes iguales de agua. Cualquiera de estas formas sirve para obtener valores relativos de la presión que junto con el volumen medido permite construir una tabla de valores $P - V$.*

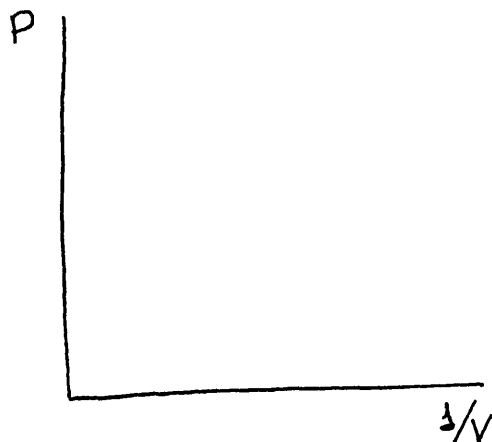
El uso de jeringas desechables permite, tomando algunas precauciones, obtener resultados bastante correctos. Entre estas precauciones cabe notar las siguiente:

- el cierre de las jeringas: los estudiantes proponen, entre otros procedimientos, soldar a la llama, poner una pieza de goma sobre la mesa y presionar en ella la jeringa, utilizar la aguja en tapón de goma, etc.

- tener en cuenta la fricción (conviene presionar ligera y repetidamente con la mano hasta constatar que la posición del émbolo no varía o utilizar algún lubricante).

A.6. Proceder a realizar la experiencia y analizar los resultados obtenidos.

Comentarios A.6. Los estudiantes recurren a representar $P = f(v)$, que según la hipótesis manejada debe conducir a una hipérbola. Conviene llevarles a utilizar una representación que proporcione -siempre según la hipótesis- una línea recta lo que conduce a dibujar la correspondiente a $P = f(1/V)$.

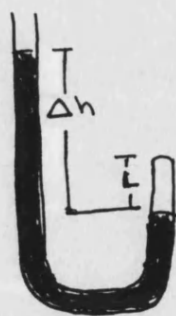


El profesor o profesora debe hacer algunas consideraciones sobre los valores de las presiones tomadas, pues el alumnado, a estas edades, tiene dificultades en el manejo de valores relativos. Si cada pesa supone un incremento de presión cuyo valor relativo es 1 y la presión atmosférica es P_0 , los valores sucesivos serán $P_0 + 1$, $P_0 + 2$, $P_0 + 3$, etc... Ahora bien, basta tomar como origen el valor P_0 para poder considerar como valores de la presión 1, 2, 3, etc.

A.7. En su experimento original Boyle midió la longitud L (directamente proporcional al volumen) de una de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio. Con este procedimiento obtuvo la siguiente tabla:

L(cm)	50,0	45,0	40,0	35,0	30,0
h(m)	0,0	8,3	18,0	32,1	50,0

Sabiendo que la presión atmosférica es de 750mm Hg, proceder al análisis de dichos resultados.



Comentario A.7. Si se desea completar las relaciones que conducen a la ecuación general de los gases ideales puede proponerse la actividad siguiente:

Diseñar un montaje que permita contrastar la relación $V/T = \text{cte}$ (para una misma masa de gas y presión constante).

El diseño más sencillo, dado el que había comentado en la actividad anterior, consiste en calentar una jeringa e ir midiendo la temperatura y el volumen. Dicho montaje tiene problemas en su realización dada la dificultad de deslizamiento del embolo. Como alternativa puede sugerirse la utilización de un matraz conectado a un tubo horizontal de pequeña sección que contenga una gota de líquido coloreado para hacer perceptibles las valoraciones del volumen gaseoso encerrado. Por supuesto tendremos el error debido a la dilatación del propio recipiente, pero lo supondremos despreciable frente al gas encerrado.

A.8. Dada la dificultad que existe en la realización de este montaje en un laboratorio escolar, proceder a analizar los resultados de la tabla de valores adjunta que se han obtenido al medir el volumen ocupado por una masa de un gas a presión constante, para dichas temperaturas:

t (°C)	0	10	20	30	40	50	60
V (cc)	9100	9430	9770	10100	10400	10800	11100

A.9. La ley de los gases deducidas se conoce como “de los gases perfectos” porque parte de unas simplificaciones que, limitan su validez. Recordar cuáles son esas simplificaciones y justificar por qué no se cumple, más que de forma aproximadamente, cuando la aplicamos a los gases reales.

Comentarios a A.8 y A.9. La primera actividad permite analizar datos a pesar de no realizar la experiencia por las dificultades ya comentadas y puede plantearse el problema de lo que sucedería si se extrapolase la gráfica a valores inferiores de la temperatura. La segunda actividad pretende que los estudiantes reflexionen sobre la elaboración del modelo en donde se pusieron

unas condiciones que no suceden realmente, tales como despreciar siempre el volumen de las partículas no se ejerzan, entre ellas, otras fuerzas que las de colisión. Este comentario permite, también, dejar el problema abierto para cursos posteriores en los que deberá estudiarse la modificación que debe hacerse de la ecuación al tratar con gases reales.

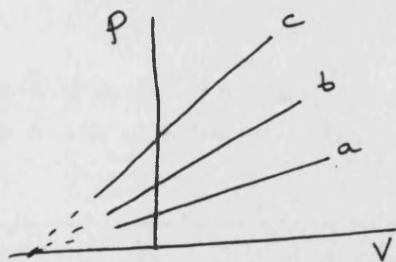
2.2. OTRAS APLICACIONES DEL MODELO.

Como ya hemos visto el modelo corpuscular de los gases nos ha servido para poder predecir el comportamiento de éstos. A continuación veremos como también es válido para justificar otros hechos.

A.10. Aplicar el modelo a la justificación de los cambios de estado que se producen al variar la temperatura. (Podéis utilizar como concreto el caso de agua).

Comentarios A.10. *Para responder a esta cuestión debe comenzarse reflexionando sobre las fuerzas internas que existen en los tres estados físicos que obligan a mantener a las partículas en posiciones definidas -en el caso de los sólidos- y a poder moverse dentro de unos límites -en el caso de los líquidos-. A continuación la idea de movimiento existente en cualquiera de los tres estados físicos descritos posibilita poder entender la transformación de unos en otros debido al aumento de la velocidad de las partículas que experimentan con la temperatura, pues ello les permite romper las ligaduras que les obligaban a mantenerse en las posiciones definidas -en el caso de la fusión- o a moverse libremente por todo el recinto -en el caso de la ebullición-.*

A.11. Como ya hemos estudiado en el punto anterior, la variación del volumen y de la presión de una cantidad determinada de gas en función de la temperatura viene dada por una recta del tipo de las representadas en las gráficas adjunta (las rectas A, B y C representan cantidades iniciales distintas de gas.)



a) Interpreta la línea de puntos y explica el significado del cero absoluto razonado la imposibilidad teórica de alcanzarlo. b) Según esta gráfica ¿es posible que las partículas estén totalmente en reposo?

Comentarios A11. *Se pretende que los estudiantes interpreten la línea de puntos como una extrapolación teórica que permite predecir lo que sucedería si fuese posible bajar las temperaturas de los gases a los límites marcados en la gráfica. Debe comentarse que esta situación nunca sería real ya que la línea representada corresponde a una ecuación válida únicamente para gases ideales, además el comportamiento a temperaturas tan bajas dista mucho de esta situación. No obstante es una aproximación que permite justificar teóricamente el “cero absoluto” de temperatura.*

Por otra parte, la segunda gráfica muestra que la presión, en el cero absoluto, sería también nula, ello sólo es posible si las partículas estuviesen en reposo. En consecuencia, las partículas se encuentran en movimiento constante.

A.12. Justifica que un líquido se evapore sin alcanzar la temperatura teórica de ebullición.

Comentarios A.12. *La justificación de la evaporación permite comprender que las partículas tienen velocidades distintas y que sólo aquellas situadas en la superficie del líquido que tienen una velocidad suficiente pueden escaparse.*

A.13. Emite hipótesis sobre los factores de los que dependerá la velocidad de evaporación y proponer alguna experiencia que permita comprobar la validez de las mismas.

Comentarios A.13. *Si la justificación dada en la actividad anterior es correcta, la evaporación dependerá de la superficie del matraz en la que se encuentra el líquido y de la temperatura. De la primera porque cuando mayor sea la superficie más partículas se encuentran en ella y, en consecuencia, mayor probabilidad de escapar y, de la segunda, porque su velocidad media será mayor y por tanto son más numerosas aquellas que ya han alcanzado la mínima para abandonar el líquido.*

La experiencia es fácil de diseñar y se trataría de colocar el mismo volumen de líquido (agua o alcohol) en una probeta y en un recipiente mucho más ancho y dejarlos hasta el día siguiente en el que se mide el volumen que queda en cada uno de ellos. No obstante puede acudirse a hechos suficientemente conocidos como es que cuando se desea secar algún líquido derramado se esparce para que aumente la superficie de contacto.

En cuanto a la temperatura basta con acudir al hecho suficientemente conocido de que se “seca” mucho antes en verano que en invierno.

Si se desea puede completarse el punto con la actividad siguiente:

“ A partir del modelo cinético de los gases, tratar de dar una interpretación del concepto de temperatura y explica el significado que tiene la temperatura de ebullición”.

Si optamos por proponer esta actividad debe partirse de la interpretación que sobre la evaporación se había realizado, pues ello permite entender que la temperatura está relacionada con una velocidad media de las partículas y por tanto no tiene sentido hablar de temperatura de las partículas de forma individual.

En cuanto a la temperatura de ebullición se podrá explicar admitiendo que la velocidad media de las partículas será suficiente para que las que se encuentran en la superficie puedan escaparse por tanto estadísticamente puede afirmarse que siempre existirán partículas que lo estarán haciendo.

Por otra parte, esta interpretación permite, también, justificar otros hechos suficientemente conocidos como es el de que mientras dura el proceso de ebullición la temperatura permanezca constante.

Para finalizar este tema deberemos comprobar que el modelo emitido para los gases es extrapolable también a los otros estados de la materia.

A.14. Al mezclar 50 mL de agua con 50 mL de alcohol, el volumen total es inferior a 100 mL. Comprobarlo y explicar, acudiendo al modelo, la contracción del volumen experimentada.

A.15. Los sólidos al aumentar la temperatura se dilatan. Proponer una experiencia sencilla que permita comprobar la dilatación de los sólidos y proponer, en base al modelo, una explicación coherente con el modelo cinético de gases elaborado.

A.16. La transformación de hielo en agua y ésta en vapor es un hecho común observado diariamente. Razona los cambios de estado producidos en el agua mediante el modelo cinético.

Comentarios A.14, A.15 y A.16. Con estas tres actividades se pretende que los estudiantes comprueben como es posible extrapolar el modelo cinético de los gases a los otros estados de la materia.

La A.14, presenta una actividad conflictiva; pues, prácticamente todos los alumnos y alumnas creen que al mezclar 50 mL de agua con 50 mL de alcohol el volumen total será de 100 mL y se llevan una “verdadera sorpresa” cuando comprueban que no es así e incluso muchos consideran que se ha debido a la pérdida de líquido producida al pasar de una a otra probeta. Sin embargo la aceptación de que se produce una disminución del volumen total conduce a una explicación satisfactoria a través del modelo cinético basado, entre otras cosas, en la existencia de huecos.

En la actividad siguiente se busca comprobar si los estudiantes ya no acuden a la idea intuitiva de explicar las propiedades macroscópicas dotando a las partículas de estas mismas propiedades. En este caso, la idea más intuitiva es considerar que “los sólidos se dilatan porque las partículas aumentan de volumen al calentarlas”.

Por último, la A.16, pretende que comprueben como el modelo cinético permite justificar la existencia de los tres estados en una misma sustancia como es el agua, por otra parte una de las más conocidas por ellos.

Curso	Título/Autores	Editorial	Año
7º EGB	Naturaleza: Seres y fenómenos./ Alvira, Tomás..	Mag. Español	1973
	Naturaleza./ Aragón, Lowy ...	Santillana	1981
	Naturaleza. / Arranz y Herrero	Miñón	1977
	CC de la Naturaleza./ Artero y Fidalgo	Everest	1982
	CONSULTOR/ Calvo	Santillana	1972
	CC de la Ntauraleza./ Cañas	Anaya	1982
	CC de la Naturaleza./ Dou ...	S.A. Casals	1973
	CC de la Naturaleza.	S.M.	1973
	Mundo y Ciencia./ Fuster	Mag. Español	1973
	CC de la Naturaleza./ García ...	Interduc	1979
	CC de la Naturaleza	Anaya	1974
	Ciencias Físicas ORBE./ Pinto y Crespell	Vicens-Básica	1982
8º EGB	Naturaleza./ Arranz y Herrero	Miñón	1977
	CC de la Naturaleza./Codoni ...	Narcea	1974
	Nosotros y las Ciencias./ Quijada	Edelvives	1974
	CC de la Naturaleza./Moreno ...	Interduc	1979
	CC de la Naturaleza./Peiró	Anaya	1979
	CC de la Naturaleza./	S.M.	1981
	CC de la Naturaleza.ORBE./Casajuana ...	Vicens-básica	1982
	CC de la Naturaleza./ Fidalgo y Artero	Everest	1981
	OBERVATORIO./	S.M.	1984
	Naturaleza./ Batlle ...	Santillana	19890

	CC de la Naturaleza./Vadillo	Santillana	1984
	Planeta-8	Vicens-Vives	1985
	ESPORA/ Eq. Almenar	Anaya	1985
	CC de la Naturaleza./	Onda	1985
	CC de la Naturaleza./Dou	S.A. Casals	1987
	Núcleo-8/	Bruño	1988
2ºBUP	Física y Química./ Aguilar y Garzón	Anaya	1976
	Física y Química./ Beltrán ...	Anaya	1976
	Física y Química./ Feo ...	Bello	1976
	Física y Química./ Gómez	Didascalía	1976
	Física y Química./ Lozano y Vigatá	S.M.	1976
	Física y Química./ Martín	Mag. Español	1976
	Hacia la Física y Química./ Esteban ...	Alhambra	1981
	POSITRON./ Lasheras	Vicens-Vives	1982
	Física y Química./ Bascones ..	Luis Vives	1983
	Física y Química./ Candel ...	Anaya	1992
	Física y Química./ Fidalgo	Everest	1988
	FASE II /Martínez	Bruño	1987
	Física y Química./ Marín y Negro	Alhambra	1982
	Física y Química./Martín ...	Mag Españos	1976
	FUSION./ Paraira y Román	Vicens Vives	1976
	Física y Química./Pujol y Bozal	Teide	1976
	Física y Química./ Soler	S.M.	1976

	Física y Química./ Olarte.	S.M.	1984
3º BUP	Fase III/ Martínez	Bruño	1987
	Física y Química./Aguilar y Garzón	Anaya	1977
	Física y Química./ Beltrán ...	Anaya	1982
	Física y Química./ Candel ...	Anaya	1988
	Física y Química./ Buendía ...	S.M.	1977
	Física y Química./ Fidalgo	Everest	1988
	Física y Química./ Gómez ...	Didascalía	1977
	SPIN / Lasheras y Carretero	Vicens-Vives	1981
	Física y Química./ Marín y Negro	Alhambra	1982
	Física y Química./ Martín ...	Mag. español	1977
	ORBITAL. Parreira	Vicens-Vives	1977
	QUARK./ Lozano y Vigato	Alhambra	1986
COU	Química / Enciso ...	Noguer	1978
	Química / Esteban.	Alhambra	1878
	Introducción a la Q. superior. Fernández	Anaya	1975
	Química / Guillén	Marfil	1979
	Química / Guillén ...	Mag. español	1981
	Química / Morcillo y Fernández	Anaya	1981
	Química / Martínez y Grau	Bruño	1975
	Química / Salinas y de Manuel	Edelvives	1979
	Química / Lorenzo.	Bruño	1980

	Química /Enciso	Noguer	1978
	Química / Orozco.	S.M.	1984
	Química / Morcillo y Fernández	Anaya	1995
ESO	Física y Química 3º del Barrio ...	S.M.	1994
	CC de la Naturaleza 3º Antón ...	Editex	1994
	Física y Química.3º Sendra ..	ECIR	1994
	Física y Química 3º Illana	Mc Graw Hill	1994
	Física y Química 3º Arribas ...	Edelvives	1995
	Física y Química./ Ayensa	Mira Editores	1993
	La búsqueda de la unidad../ Martínez ..	Aguaclara	1993
	Física y Química 3º Cruz ...	Bruño	1994
	CC de la Naturaleza 1º/	Mc Graw Hill	1995
	Explora/ del Carmen ..	S.M.	1996
	Ozono	S.M.	1995
	CC Naturales. Química. Grupo Habla	Akal	1994
	CC de la Naturaleza./ Hierrezuelo ..	ELZ	1993
	CC Naturales/	Alhambra	1996

BIBLIOGRAFIA

ABIMBOLA, I.O., 1988, The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72, 175-184.

AIKENHEAD, G. S., 1985, Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69 (4), 453-475.

ALONSO M. 1993, La evaluación en física como instrumento de aprendizaje. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia.

ANDERSON B., 1990, Pupils' conceptions of matter and its transformations (12-16), *Studies in Science Education*, 18, 53-85.

AUSUBEL, D. P.. 1978, *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas: México.

AZCÁRATE , G.C. 1990, La velocidad: introducción al concepto de derivada, (*Tesis doctoral*, Universitat Autònoma de Barcelona).

BACHELARD, M. 1967, *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin: París.

BELL B.P. y PEARSON N. 1992, *International Journal of Science Education*. 14 (3), 349-361.

BELLOCH F. et al, 1990. "Experimentación de un nuevo currículum de Química para la segunda etapa de la EGB" *Memoria del Proyecto de Innovación aprobado por la Consellería de C. y E. de la Generalitat Valenciana*.

BEN ZVI, R., EYLON, B. y SILBERSTEIN, J. 1982. *A study of Student Conceptions of Structure and Process*. Department of Science Teaching. The Weizmann Institute of Science. Rehovot, Israel.

BENEDITO, J. y SOLBES, J. 1990, "Aprendizaje significativo de la Física y la Química a través de una metodología constructivista" *Memoria del Proyecto de Innovación Educativa. Consellería de C y E. de la Generalitat Valenciana*.

BIZZO M. V. 1993, Historia de la Ciencia y enseñanza de la Ciencia: ¿Qué paralelismos cabe establecer? *Comunicación, Lenguaje y Comunicación*, 18, 5-14.

BOVET M., 1980, "Poids et masses" en *Actes de IIIèmes Journées sur l'Education Scientifique*. Chamonix, 1979.

BRUNER J.S., 1984, *Acción, pensamiento y lenguaje*. Alianza, Madrid.

BULLEJOS DE LA HIGUERA, J. 1983, Análisis de actividades en textos de Física y Química de 2º de BUP, *Enseñanza de las Ciencias*, V, 1, 3, 147-157.

BULLEJOS J. de MANUEL E. y FURIÓ C., 1993, ¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto. *IV Congreso de Enseñanza de las Ciencias*. Barcelona. 217-218.

BURBULES, N. y LINN, M. 1991, Science education and phylosophy of science: congruence or contradiction?, *International Journal of science education*, 13 (3), 227-241.

CAÑAL P. 1990, La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. *Tesis Doctoral*. Universidad de Sevilla.

CAÑAL P. y PORLAN R., 1987, Investigando la realidad próxima: un modelo didáctico alternativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 54-60.

del CARMEN, L., 1990, Desarrollo curricular y formación permanente del profesorado, *Formación de Formadores en Didáctica de las Ciencias* 45-58. LA Nau, Valencia.

CARRASCOSA, J., GIL D. y FURIÓ C. 1984, Criterios básicos para la elaboración de un curriculum de Física y Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, (2), 103-110.

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, Valencia.

CARRASCOSA, J., FERNÁNDEZ, Y. y GILD. Y OROZCO, A. 1991. Diferencias en la evolución de las preconcepciones científicas: un instrumento para la comprensión de sus orígenes. *O Ensino de Física*. Brasil.

CARRASCOSA J., y GIL D., 1985, La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 113-120.

CARRASCOSA J. y GIL, 1992. Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*. 10, (3), 314-328.

CASTARINA J. A. 1996. *El debate Piaget-Vigotsky: la búsqueda de un criterio para su evaluación*. 9-44 de libro: Piaget-Vigotsky: contribuciones para replantear el debate. Paidós. Barcelona.

CERDÁN D. et al. 1985, Disociación entre la Química escolar y la realidad. *I Congreso sobre investigación en la didáctica de las Ciencias y las Matemáticas*. Barcelona.

COHEN, L. y MANION, L., 1990, *Métodos de investigación educativa*, La Muralla. Madrid.

COLL, C. 1986, Hacia la elaboración de un modelo de Diseño Curricular: Bases psicológicas. *Cuadernos de Pedagogía*, 139, 12-16.

COLL C. 1987, *Psicología y currículum*. Laia:Barcelona.

COLL C. 1988, *Conocimiento psicológico y práctica educativa*. (Barcanova. Barcelona).

COLL 1989 Diseño curricular base y Proyectos curriculares. *Cuadernos de Pedagogía* 168. 8-14.

COLL, C. 1990. *Psicología y Educación*. "Un marco de referencia psicológico para la educación escolar: La concepción constructivista del aprendizaje y de la enseñanza. Cap. 23 435- 453.

COLL C. 1991, Concepción constructivista y planteamiento curricular. *Cuadernos de Pedagogía* 188, 8-11.

COLL C. 1993, Psicología y debate: una relación a debate. *Infancia y aprendizaje*. 62-63.

COLL, C. 1994, De qué hablamos cuando hablamos de constructivismo. *Cuadernos de Pedagogía*. 221, 8-10.

CERVANTES, A. 1987. Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 66-70.

DAVY T. 1976, Boyle et sa loi. *L'actualité chimique*, mars, 20-22.

DORAN R.L. 1972, Mis conceotins of selected sicence concepts held by elementary school students. *Journal of Research in Science Teacher* 9, 127-137.

DRIVER, R. 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-16.

DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHIE, A. 1989, *Ideas científicas en la infancia y adolescencia*. Ediciones Morata/MEC: Madrid.

DRIVER R.y OLDFIELD V., 1986, A constructivist approach to curriculum development in Science, *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

DUIT R. 1993. Research on student's conceptions-developements and trends, paper presented at the "Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics". Cornell. Ithaca.

DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ C. y GARRET, R. 1990. Formación inicial del profesorado de Ciencias en Francia, Inglaterra y Gales y España. Análisis de la organización de los estudios y nuevas tendencias. *Enseñanza de las Ciencias* 8 (3), 274-281.

DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H., 1991. Epistemological perspectives on conceptual change: implicacions for educational practice. *Journal of research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.

DUSCHL, R. A. 1994, Perspectivas epistemológicas sobre el cambio conceptual: implicaciones para la práctica educativa. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 25, 107-125.

DUSCHL, R.A. 1995, Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 3-14.

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.

ESCOBEDO M. y FURIÓ, 1993. ¿Cómo se presenta y razona el equilibrio químico en los libros de texto?. *IV Congreso Internacional sobre investigación en la didáctica de las Ciencias y las Matemáticas*.

ESCUADERO, T. 1985, Las actitudes en la enseñanza de las ciencias: un panorama complejo, *Revista de educación*, 278, 5-25.

FURIÓ C., 1986. Metodología utilizada en la detección de las dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 73-77.

FURIÓ C., 1992, ¿Por qué es importante la teoría para la práctica en la educación científica? *Aula de Innovación Educativa* , 4-5,5-10.

FURIÓ C. 1994a, Unas relaciones afectivas controvertidas: Las actitudes de los estudiantes hacia las ciencias y su aprendizaje. *Aula*, 27, 5-8.

FURIÓ C., 1994b, La Enseñanza de las Ciencias como investigación: un modelo emergente. *Proceedings International Conference "Science and Mathematics Education for the 21 st, Century: Towards innovatory approachs"* Universidad de Concepción. Concepción (Chile).

FURIÓ C., 1996, Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7, 7-17.

FURIÓ C. y CALATAYUD M.L. Difficulties with the Geometry and Polarity of Molecules. *Journal of Chemical Education*, 73, (1) 36-41.

FURIÓ C. y GIL D., 1978, *El programa-guía, una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química en el Bachillerato*. Universitat de Valencia-ICE.

FURIÓ C. y HERNÁNDEZ J. 1983, Ideas sobre los gases en alumnos a los 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, V, (1) , 83-91.

FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, 1987. Parallels between edolescent's conception of gaases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 64 (7), 617-618.

FURIÓ C., ITURBE J. y REYES V., 1994, Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 24, 89-99.

GAGLIARDI R., 1988, Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 291-196.

GARRET, R. 1987. Issues in Science Education: problem-solving, crativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9, (2), 125-137.

GENÉ A., 1986, Transformació del treballs pràctics de Biología: una proposta teóricament fonamentada. *Tesis doctoral*. Universitat de Barcelona.

GIL D. 1981, *Evolución de la idea de materia*. ICE de la Universidad de Valencia: Valencia.

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 cinetífica y la enseñanza de las Ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 4, nº 2, 111-121.

GIL D., 1991, ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*. 9, (1), 69- 82.

GIL D., 1993, Controbución de la historia y filosofía de la ciencia al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, col, 11, nº 2, 197-212.

GIL D., 1994, Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 12, nº2, 154-164.

GIL D. y CARRASCOSA J. , 1990, What to do about science misconceptions?. *Science Education*, 74 (5), 531-540.

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; CARRASCOSA, J; FURIÓ, C; MARTÍNEZ, J. 1991, La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. Horsori/ICE Universidad de Barcelona.

GIL D. y MARTÍNEZ TORREGROSA J. 1987, *La resolución de problemas de Física*. Ediciones del M.E.C: Madrid.

GIMENO SACRISTÁN, J. 1991, Los materiales y la enseñanza. *Cuadernos de Pedagogía*. 194. 10-15.

- GIMENO SACRISTÁN, J. 1994. Los materiales: cultura, pedagogía y control. Contradicciones de la democracia cultural. *Actas de las IV Jornadas sobre la LOGSE*. Granada.
- GIORDAN A., 1978, "Observations-Experimentations: Mais comment les élèves apprenent-ils". *Rev. Française de Pedagogie* 22, 66-73.
- GIORDAN, A., 1989 De las concepciones de los alumnos a un modelo de aprendizaje alostérico. *Investigación en la escuela*, 8, 3-14.
- GIORDAN, A. y DE VECHI G., 1989, *Los orígenes del saber*. Díada Editoras. Sevilla.
- GÓMEZ-GRANELL C. y COLL C. 1994. De qué hablamos cuando hablamos de constructivismo. *Cuadernos de Pedagogía*, 221, 8-10.
- GRAU, R. 1993. Revisión de concepciones en el área de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, (1), 87-89.
- GÓMEZ CRESPO, M.A., POZO, J.I., SANZ, A., LIMÓN, M., 1992, La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la escuela* 18, 23-40.
- GÓMEZ M.A., POZO J.I. y SANZ A., 1995. Students' Ideas on Conservation of matter y Effects of expefise and context variables, *Science Education*, 79 (1).
- GOODLAD, J. 1979, *Curriculum inquiry. The study of curriculum practice*. Nueva York. McDraw-Hill.
- GRUENDER, C.D. y TOBIN, K., 1991, Promise and prospect. *Science Education*, 75 (1), 1-8.
- GUISASOLA J., 1996, La enseñanza aprendizaje de la electrostática como investigación en el Bachillerato. *Tesis doctoral*. Universidad del País Vasco.
- HALLOON, Y. A. y HESTENES, D. 1985. Common sense concepts about motion. *American Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.
- HARMS N. y YAGER R., 1981. What Research to the Science Teacher" Washington, *National Science Teacher Asociation*.

HASHWEH, M. Z., 1986, Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.

HEMPEL, C. G., 1976. **Filosofía de la ciencia natural**. Alianza. Madrid.

HEWSON, P. W., 1981, A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.

HEWSON P.W. y THORLEY N.R., 1989, The conditions of conceptual change, *International Journal of Science Education*, 11, special assue, 541-553.

HERNÁNDEZ J. y FURIÓ, C., 1987. Inestabilité des conceptions alternative del élèves du primaire et du secondaire sur les gaz. *Actas del IX Journées Internationales sur l'Education Sceintifique*. Chamonix.

HERNÁNDEZ, J. y PALACÍN, L., 1993, La formulación en el nuevo curriculum de química. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 19-20, 101-107.

HEWSON, P. W. 1981, A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8, (3), 229-249.

HEWSON, P.W. y THORLEY, N.R. 1989, The conditions of conceotual change. *International Journal Science Education*. (11), 541-553.

HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. 1991, *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la Química*. Díada: Sevilla.

HODSON D. 1985, Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, (12), 25-57.

HODSON, D. 1992, Assesment of practical work. Some considerations in phylosophy of Science, *Science and Education*, 1 (2), 115-144.

HOLTON, G. y ROLLER, D. 1984. *Fundamentos de la Física Moderna*. Reverté. Barcelona.

IZQUIERDO M., 1994, Cómo contribuye la Historia de las Ciencias en las actitudes del alumnado hacia la enseñanza de las Ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 27,37-41.

IZQUIERDO M., 1996, Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21.

JAMES, R. K. y SMITH, S. 1985, Alienation of students from science in grades 4-12. *Science Education*, 69, 39-45.

JIMÉNEZ, M. P., 1987. Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 165-167.

JIMÉNEZ, M.P., 1989. Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense de Madrid.

KEISLAR E.R. y SHULMAN L.S., 1966. *Learning by Discovery: a critical Appraisal*. Chicago, Rand Mc Nully.

KHUNT, T., 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de cultura económica: México).

LAKATOS, I. 1982. *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. (Tecnos: Madrid).

LAUDAN, L. 1984. *Science and values: the aims of science and their role in scientific debat*. University of California Press: Berkeley.

LARKIN, J. y RAINARD, B. 1984, A research methodology for studying how people think, *Journal of research in Science Teaching*, 21 (3), 235-254.

LEBOUTET -BARRELL L. 1976 Concepts of mechanics among young people, *Physics Education*, Novembre.

LIJNFE P.L. et al. 1990, Relaty macroscopic phenomena to microscopic particles. *Utrech: CDB, press*.

LOVELL, K. y OGILVIE E., 1960. A study of the Conservation of substance in Junior Achool Chil, *Brit. Journal Education Physics*, 30, 109.

LLORENS, J.A. 1987, Propuesta y aplicación de una metodología para analizar la adquisición de los conceptos químicos necesarios en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de lo shechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de Formación Profesional y Bachillerato. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia.

LLORENS, J. A., 1988. La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*. 4, 33-48.

LLORENS J.A., 1991. *Comenzando a aprender química*. Visor.

LLORENS, J.A., De JAIME M.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.

MANRIQUEZ M.J., VARELA P. y FAVIERES A., 1989. Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las ciencias* 7 (3).

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.

MATTHEWS, M.R. 1991, Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de la ciencia. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-149.

MATTHEWS, M. R. 1994, Historia, filosofía y enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias* 12, (2), 255-277.

MEHEUT M. 1996, Enseignement d'un modèle particulière cinétique de gaz au collège. *Didaskalia* (8) 7-32.

MEHEUT M., LARCHER, C. y CHOMAT, A. Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias*. 6 (3), 231-238.

MILLAR, R. y DRIVER, R. 1987, Beyond processes. *Studies in Science Education* 14, 33-62.

MOREIRA, M. A. 1994, Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo, Proceedings International Conference "Science and mathematics Education for the 21st Century: Towards innovative approaches". Chile.

NOVACK, D.J. 1982, *Teoría y práctica de la Educación*. Alianza Universidad.

NOVACK, J.D., 1988, Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 213-223.

NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. 1981, Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science Education*, 65 (2), 187-196.

NUSSBAUM J., 1981. Towards the Diagnosis by Science Teachers of Pupil's Misconceptions: an Exercise with Student Teachers. *European Journal of Science Education*. 3, 159-169.

NUSSBAUM J. 1989, La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa. Cap. 7. del libro: "*Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*". Morata. Madrid.

OSBORNE J. 1996, Beyond Constructivisme, *Science Education* 80 (1), 53-82.

OSBORNE, R. y FREYBERG, P. 1991, *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la Ciencia de los alumnos*. Narcea: Madrid.

OSBORNE, R. y WITTROCK, M., 1985, The Generative Learning Model and its Implications for Sciences Education, *Studies in Science Education*, 12, 59-87.

PAYÁ J., 1991, Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y la Química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia.

PERALES, F.J. y NIEVAS, F. 1988. Nociones de los alumnos sobre conceptos de óptica geométrica. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (1), 86-89.

PFUND, H. y DUIT, R., 1993. Bibliography: Students' alternative frameworks and science education. *INP at the University of Kiel*: Kiel, Alemania.

PIAGET J. 1972, Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood. *Human Development*, 15, 1-12.

PIAGET, J. y INHELDER, B. 1941, *Le Developpement des Quantités chez l'Enfant*, Delachaux et Niestlé, Paris.

POSNER G., STRIKE K., HEWSON P. y GERTZOG W., 1982, Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227.

POZO J. I., 1987. *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Visor: Madrid.

POZO J. Y., 1989, *Teorías cognitivas del aprendizaje*, Morata. Madrid.

POZO, J. Y., 1996. Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van... y mientras tanto que hacemos con ellas. *Alambique*. 7, 18-26.

POZO, J.I., CARRETERO, M., 1987. Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de las ciencias? *Infancia y aprendizaje*, 38, 35-52.

POZO, J.I; GÓMEZ CRESPO, M.A; LIMÓN, M; SANZ, A. 1991. *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Servicio de publicaciones del MEC: Madrid.

RACHELSON S. 1977. A question of Balance: A wholistic view of Scientific Inquiry *Science Education* 61, 109-117.

RAMÍREZ, L. 1990, La resolución de problemas de Física y Química como investigación en la enseñanza media, un instrumento de cambio metodológico. *Tesis doctoral*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Barcelona: Barcelona.

REYES, V. , 1991, La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio conceptual. *Tesis doctoral*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad del País Vasco.

RESNICK, L. B., 1983, Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478.

RIBELLES R., SOLBES, J. y VILCHES, A. 1995. Las interacciones C.T.S. en la enseñanza de las ciencias. Análisis comparativo de la situación para la Física y Química y la Biología y Geología. *Infancia y aprendizaje*, 28, 135-143.

ROSS W.D. *Aristóteles*. Editorial Chorges. Buenos Aires, 1981.

SCHIBECI, R. A., 1984, Attitudes to science: an uptade. *Studis in science education*, 11, 26-59.

SANMARTÍ, N. 1989. Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión en la diferencia entre los conceptos de mezcla y de compuesto. *Tesis Doctoral*. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.

SEBASTIÁN, J.M. 1984, Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), 161-169.

SERÉ M. G. 1982. A study of some frameworks of the field of mechanics, used by children (aged 11-13) when they interpret experiments about air pressure. *European Journal of Science Education*, 4,(3), 299-309.

SERÉ M. G. 1984, "Prompts, cues and discriminations: The utilizations of two separate knowledge systems. *European Journal of Science Education* 6 (3), 277-284.

SERÉ M. G. 1986. Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*. 8, 413-425.

SERÉ, M. 1989. El estado gaseoso. Cap.6. del libro. "*Ideas científicas en la infancia y la adolescencia.*" Morata. Madrid.

SERRANO T. 1987. Representaciones de los alumnos en biología: estado de la cuestión y problemas para su investigación en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), 181-188.

SCHÖN D. A., 1992, *La formación de profesionales reflexivos*. Paidós.

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. y TRAVER M.J., 1996. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias* 14 (1), 103-112.

SOLBES J. y VILCHES A. 1989, Interacciones C/T/S: un instrumento de cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20.

SOLBES J. y VILCHES A., 1992. El modelo constructivista y las relaciones ciencia/técnica/sociedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 181-187.

STAKE R. E. y EASLEY J.A., 1978. Case studies in Science Education. Center for Instructional *Research and curriculum Evaluation*. University of Illinois.

STAVY, R. 1988. Children's conception of gas. *International Journal Science Education*, 10, (5), 533-560.

STAVY, R. 1994. Pupil problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12(5), 501-512.

STENHOUSE L. 1984. *Investigación y desarrollo del currículum*. Ed. Morata. Madrid.

TATON R. 1958, *Histoire Generale des Sciences*. Presses Universitaires de France: Paris. (Hay una edición española de Ediciones Destino. Barcelona. 1972).

TOULMIN S., 1972, *Human understanding, 1: The Collective use and evolution of concepts*, Princeton University Press (traducción al español Edit. Alianza, 1977).

TOULMIN, S. 1977, *La comprensión humana*. Alianza Editorial. Madrid.

TVERSKY, A. y KAHNEMAN, D. 1974. *Judgements under uncertainty: heuristics and biases*. *Science*. 185. (Traducido al castellano por Pozo en: *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid. Alianza, 1984)

VENEZKY, R. 1992, Textbooks in school and society. *Handbook of Research on curriculum*. 1-22. Nueva York. Mc Millan.

VIENNOT, L. 1976, *La Raisonnement Spontané en Dynamique Elémentaire*. *Tesis doctoral*. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: París).

VIENNOT, L., 1979, Spontaneous reasoningt in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), 205-221.

VILCHES A. 1993, Las interacciones CTS y la Enseñanza de las Ciencias Físico-químicas. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia.

VILCHES A. 1994, La introducción de las interacciones ciencia, técnica y sociedad (CTS). Una propuesta necesaria en la enseñanza de las Ciencias. *Aula*, 27, 32-36.

VYGOTSKY, L. S., 1962, *Thouht anf Language*. M.I.T. Press, Cambridge.

YAGER , R. E. y PENICK, J. E., 1983 Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, vol. 1, 577-586.

YAGER, R. E. y PENICK, J. E. 1986, Perception of four groups towards science teachers and value of science, *Science Education*, 70 (4), 335-363.

WANDERSEE, J.H. 1992. The Historicity of cognitivs: implications for Science Education Research. *Journal of Research in Science Education*, 29, (4), 423-434.

WELCH, W., 1985, Research in Science Education: Review and recomendations, *Science Education*, 69, 421-448.

WHEATLEY, G.H., 1991, Constructivist perspectives on science and mathematical learning. *Science Education*, 75 (1), 9-21.

WHITE T. R. y GINSTONE F.R., 1989, Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science education*, 11, 577-586.

