

PROCESOS
COGNITIVOS EN LA
COMPRESION DE LA
CIENCIA:
LAS IDEAS DE LOS
ADOLESCENTES SOBRE
LA QUIMICA

J. I. POZO
M. A. GOMEZ CRESPO
M. LIMON
A. SANZ SERRANO

C·I·D·E·

PROCESOS
COGNITIVOS EN LA
COMPRESION DE LA
CIENCIA:
LAS IDEAS DE LOS
ADOLESCENTES SOBRE
LA QUIMICA

J. I. POZO
M. A. GOMEZ CRESPO
M. LIMON
A. SANZ SERRANO

C·I·D·E·

**PROCESOS COGNITIVOS
EN LA COMPRESION
DE LA CIENCIA:
LAS IDEAS DE LOS
ADOLESCENTES
SOBRE LA QUIMICA**

**J. I. Pozo
M. A. Gómez Crespo
M. Limón
A. Sanz Serrano**

**ESTUDIO FINANCIADO CON CARGO A LA CONVOCATORIA DE
AYUDAS A LA INVESTIGACION DEL C.I.D.E.**

Número 65

Colección: INVESTIGACION

PROCESOS cognitivos en la comprensión de la ciencia : las ideas de los adolescentes sobre la química / Juan Ignacio Pozo... [et al.]. – Madrid : Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia : C.I.D.E., 1991.

1. Ciencias de la naturaleza 2. Química 3. Proceso cognoscitivo 4. Comprensión 5. Aprendizaje 6. Adolescente I. Pozo, Juan Ignacio

© MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA

Secretaría de Estado de Educación

Dirección General de Renovación Pedagógica

Centro de Investigación, Documentación y Evaluación

EDITA: Secretaría General Técnica

Centro de publicaciones

Tirada: 1.000 ej.

Depósito Legal: M-35287-1991

NIPO: 176-91-131-1

I.S.B.N.: 84-369-2018-X

Imprime: GRAFICAS JUMA

Plaza de Ribadeo, 7-I. 28029 MADRID

INDICE

PRIMERA PARTE: PROCESOS PSICOLOGICOS EN LA COMPRESION DE LA CIENCIA

CAPITULO 1: Principales enfoques sobre la comprensión de la ciencia por los alumnos	9
1.1 El Pensamiento formal de Piaget como modelo de la comprensión de la ciencia	11
1.1.1 Características generales del pensamiento formal ...	12
1.1.2 Los esquemas operatorios formales	16
1.1.3 Implicaciones del modelo de Piaget para el currículo	19
1.1.4 Datos actuales sobre el desarrollo del pensamiento for- mal ¿capacidades generales o conocimientos específicos	24
1.2 El enfoque de las concepciones alternativas	27
1.2.1 Características de las concepciones alternativas	28
1.2.2 Implicaciones del enfoque de las concepciones alterna- tivas para el currículo	32
1.2.3 El enfoque de las concepciones alternativas ¿una conce- pción alternativa?	36
1.3 Semejanzas y diferencias entre ambos enfoques ..	43
1.3.1 ¿Por qué tienen los alumnos ideas previas sobre la cien- cia que influyen en el aprendizaje?	44
1.3.2 ¿Qué ideas tienen los alumnos y por qué tienen preci- samente esas ideas?	47
1.3.3 ¿Cómo se organizan esas ideas en la mente de los alum- nos?	49

1.3.4 ¿Cómo cambian esas ideas, o sea, cómo se aprende ciencia?	51
---	----

CAPITULO 2: El pensamiento causal como modelo de la comprensión de las ciencias 57

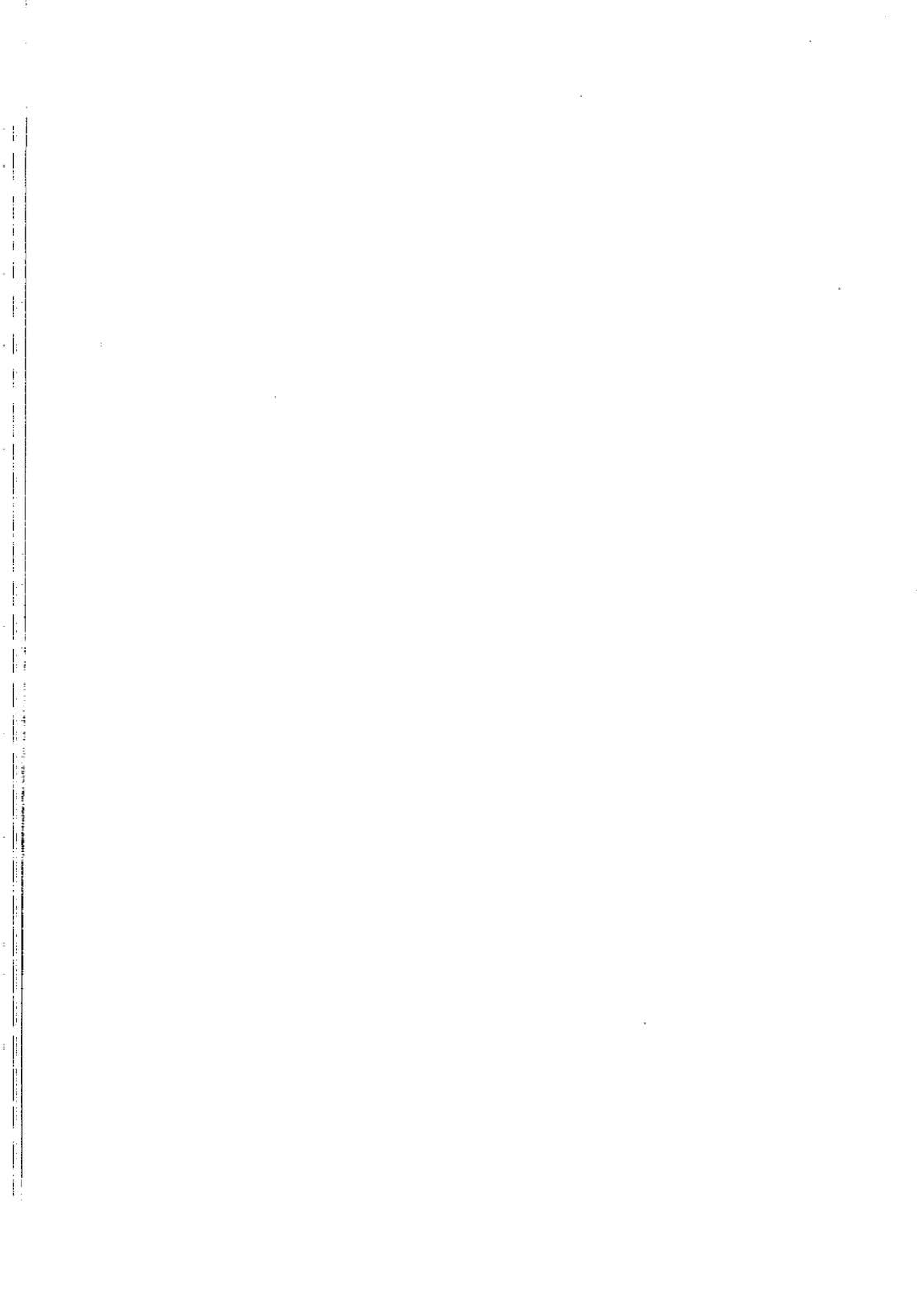
2.1 El pensamiento causal como modelo de la comprensión de la ciencia por los alumnos	59
2.2 El funcionamiento del pensamiento causal	60
2.2.1 Funciones del pensamiento causal	61
2.2.2 Componentes del pensamiento causal	62
2.2.3 Aprendizaje y desarrollo del pensamiento causal ...	65
2.3 El pensamiento causal como origen de las concepciones alternativas	68
2.3.1 Concepciones espontáneas: la psicología del sentido común	70
2.3.2 Concepciones inducidas: las representaciones sociales	78
2.3.3 Concepciones análogas: la instrucción a través de modelos	83
2.4 Las teorías implícitas	85
2.4.1 Características de las teorías implícitas	87
2.4.2 Restricciones estructurales en las teorías implícitas o la vuelta a los esquemas operatorios formales	96
2.4.2.1 Causalidad lineal vs interacción de sistemas	97
2.4.2.2 Relaciones cualitativas vs esquemas de cuantificación	98
2.4.2.3 Cambio y transformación vs conservación y equilibrio	100
2.5 El cambio conceptual	101

SEGUNDA PARTE: LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS EN QUIMICA

CAPITULO 3: Principales núcleos conceptuales en la comprensión de la química	105
3.1 Continuidad/discontinuidad de la materia	107
3.2 Conservación de las propiedades de la materia ..	111
3.3 Cuantificación de relaciones	113
CAPITULO 4: Conceptos químicos fundamentales	117
4.1 Las ideas de los alumnos sobre la estructura de la materia: el concepto de partícula	119
4.1.1 Introducción	119
4.1.2 Estructura continua de la materia versus estructura corpuscular	121
4.1.3 Características que el alumno atribuye a las partículas	130
4.1.4 Algunas explicaciones posibles de las ideas del alumno sobre el concepto de partícula	143
4.2 Conceptos de átomo y molécula	146
4.3 Concepto de sustancia pura	148
4.4 Concepto de elemento	150
4.5 Concepto de compuesto	153
4.6 Concepto de mezcla	158
4.7 Relaciones cuantitativas de las partículas. El concepto de mol	158
CAPITULO 5: Estados de agregación de la materia	165
5.1 Introducción	165

5.2 Concepto de sólido	171
5.3 Concepto de líquido	176
5.4 Concepto de gas	179
5.4.1 Concepciones que atribuyen características animistas a los gases	180
5.4.2 Concepciones originadas por una deficiente comprensión de los postulados de la teoría cinético-molecular ...	181
5.4.3 Concepciones prototípicas del alumno	183
5.4.4 Concepciones relativas a errores en la comprensión de los conceptos de presión, volumen, temperatura y de sus relaciones	190
5.4.5 Concepciones debidas a la ausencia de las nociones de conservación (de la masa, el peso y el volumen)	196
CAPITULO 6. Los cambios de la materia	199
6.1 Cambio fisico frente a cambio químico	199
6.2 Cambios de estado	202
6.2.1 Concepciones originadas por la confusión entre cambio químico y cambio físico	203
6.2.2 Concepciones originadas por las ideas del alumno sobre la estructura de la materia, los gases, los líquidos y los sólidos	204
6.2.3 Concepciones debidas a la falta de comprensión de los cambios de estado como proceso de transferencia de energía	208
6.3 Disoluciones	213
6.3.1 Interpretaciones sobre el proceso de disolución	214
6.3.2 Relaciones cuantitativas en las disoluciones	215
6.4 Reacciones químicas	218

6.4.1	Ideas sobre las reacciones químicas	219
6.4.2	La conservación en las reacciones químicas	222
6.4.3	Esquemas interpretativos de una reacción química	225
6.4.4	Relaciones cuantitativas en las reacciones químicas	230
6.5	Equilibrio Químico	239
6.5.1	Introducción	239
6.5.2	Dificultades en el estudio del equilibrio químico	242
6.5.3	Estrategias que utilizan los estudiantes en la comprensión del equilibrio	250
CAPITULO 7: Variables relacionadas con el rendimiento en química		253
7.1	Variables psicológicas	254
7.1.1	Pensamiento formal	254
7.1.2	Capacidad mental	264
7.1.3	Dependencia/Independencia de Campo	266
7.1.4	Razonamiento espacial	267
7.1.5	Sexo	270
7.1.6	Conocimiento previo	270
7.2	Variables Instruccionales	271
7.2.1	Estilos de enseñanza	272
7.2.2	Instrucción del pensamiento formal	274
7.2.3	Análisis de textos	275
7.3	Conclusiones	276
Apéndice de Tareas		278
Bibliografía		322



CAPITULO 1

PRINCIPALES ENFOQUES SOBRE LA COMPRESION DE LA CIENCIA POR LOS ADOLESCENTES

El Diseño Curricular Base (D.C.B.) adoptado por el M.E.C. y, en el caso que nos ocupa, su concreción en el Area de Ciencias de la Naturaleza para el período 12-16, asume una concepción del aprendizaje escolar basada en lo que hoy se ha dado en llamar constructivismo. Según el mencionado D.C.B., este enfoque se traduciría en que

“Los alumnos construyen el conocimiento científico a partir de sus ideas y representaciones previas –más o menos intuitivas, más o menos erróneas, más o menos esquemáticas– sobre la realidad a la que se refiere dicho conocimiento. La enseñanza de la Ciencia consiste pues, fundamentalmente, en promover un cambio en dichas ideas y representaciones con el fin de acercarlas progresivamente al entramado conceptual y metodológico del conocimiento científico tal como aparece estructurado en el momento actual” (D.C.B., Educación Secundaria Obligatoria, vol. I, pág 111).

Para el logro de este propósito, se considera necesario *partir del nivel de desarrollo del alumno* ya que éste determina, entre otras cosas, los conocimientos previos con los que el alumno accede al aula y con los cuales es necesario conectar los materiales de aprendizaje para lograr *la construcción de aprendizajes significativos.*

Esta opción es coherente con la investigación realizada en las últimas décadas sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, cuyo

rasgo más característico ha sido sin duda la adopción de un enfoque *constructivo*. Si tuviéramos que resumir en una sola frase la idea central de este enfoque, recurriríamos sin duda al lema que abre la *Psicología Educativa* de Ausubel, Novak y Hanesian (1978), cuyo espíritu es muy próximo a la posición psicopedagógica asumida en el D.C.B.:

“Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto y enseñese en consecuencia” (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978, pág. 1).

Pero si la mayor parte de los investigadores dedicados al aprendizaje y enseñanza de las ciencias estarían de acuerdo en esta idea el consenso se rompería fácilmente en cuanto intentáramos precisar un poco más su significado. Como señalan Driver (1980) o Freyberg y Osborne (1985), tal vez una de las razones por las que esta frase resulta tan aceptada sea precisamente su ambigüedad. Hay diversas formas de “averiguar” y conceptualizar “lo que el alumno ya sabe”, de las cuales se derivan implicaciones sustancialmente distintas con respecto a la concreción del D.C.B. de Ciencias de la Naturaleza en opciones curriculares determinadas. No se trata ya tanto de defender o justificar la opción del constructivismo cuanto de precisar en qué consiste. Al igual que Rivière (1987) ironiza con respecto a la Psicología Cognitiva, debemos plantearnos ahora que “casi todo el mundo es constructivista” qué tipo de constructivismo se corresponde con cada opción.

Aunque existan otras variantes (véase Freyberg y Osborne, 1985), en nuestra opinión ha habido en la últimas décadas dos formas fundamentales de investigar “lo que el alumno ya sabe” sobre las ciencias, que han tenido una notable influencia en los desarrollos curriculares en este área. Se trata por un lado de la teoría piagetiana de las *operaciones formales* (Inhelder y Piaget, 1955; Shayer y Adey, 1985) y por otro del más reciente enfoque de las *ideas previas* o concepciones alternativas de los alumnos sobre los fenómenos científicos (por ej., Archenhold *et al.*, 1980; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Hierrezuelo y Moreno, 1988). Aunque ambos enfoques coinciden en algunos supuestos básicos (constructivismo, aprendizaje a partir de los conocimientos previos, etc) difieren en otra serie de supuestos igualmente importantes que conducen a opciones curriculares claramente distintas.

Este capítulo estará dedicado a exponer en primer lugar las principales características y evolución de cada uno de estos dos enfoques. Ello nos permitirá a continuación identificar sus principales semejanzas y diferencias, que servirán de punto de partida para la búsqueda de un modelo integrador del conocimiento científico del alumno, basado en la construcción del pensamiento causal (capítulo 3). La Segunda Parte de este trabajo estará dedicada a analizar, a partir de ese modelo, el “nivel de desarrollo” o de “conocimientos previos” que poseen los alumnos de 12-16 años con respecto a un área concreta de las Ciencias de la Naturaleza, la Química, cuya sistematización resulta particularmente interesante ante la ausencia de trabajos integradores hasta la fecha.

1.1 EL PENSAMIENTO FORMAL DE PIAGET COMO MODELO DE LA COMPRESION DE LA CIENCIA

De los dos enfoques mencionados, el que posee una más larga tradición es el basado en la psicología genética de Jean Piaget, cuyas formulaciones sobre el desarrollo del pensamiento formal en los adolescentes tuvieron bastante influencia sobre los proyectos curriculares y de investigación desarrollados en los años setenta y comienzos de los ochenta en diversos países (por ej., Karplus *et al.*, 1979). Si bien su influencia ha decaído bastante en los últimos años, siendo en gran medida reemplazada por el empuje del enfoque de las concepciones alternativas, las posiciones piagetianas siguen teniendo en nuestra opinión una gran relevancia para comprender el funcionamiento cognitivo de los alumnos ante las Ciencias de la Naturaleza. Nos detendremos por ello a exponer con el detalle que merece la concepción piagetiana del pensamiento formal.

Todo el edificio conceptual que constituye la Epistemología Genética piagetiana es un intento de establecer los procesos y estructuras mediante los cuales las personas construyen el conocimiento científico. A partir de una primaria inteligencia sensoriomotora (Piaget, 1936), basada en acciones y percepciones, los bebés logran formar sus primeras representaciones simbólicas (Piaget, 1946), que les permiten un nuevo acercamiento a la realidad basado no sólo en la acción sino también en la conceptualización. Pero la construcción de los primeros conceptos científicos no será posible hasta que el niño supere ciertas formas de

pensamiento basadas aún en una causalidad inmediata (Piaget, 1927) y en un predominio de la percepción y la apariencia sobre la elaboración conceptual y la operación intelectual. La superación de algunas de estas limitaciones se logrará con el acceso a las operaciones concretas, que permiten al niño construir sus primeros conceptos científicos, en la medida en que implican una conservación más allá de ciertos cambios aparentes. Algunos de los logros del período de las operaciones concretas, cruciales para la comprensión de la ciencia, serían las nociones de espacio (Piaget e Inhelder, 1948), tiempo (Piaget, 1946), número (Piaget y Szeminska, 1941) o las conservaciones de cantidad de materia, peso y volumen (Piaget e Inhelder, 1941).

Pero si bien estos conceptos son necesarios para la comprensión de los fenómenos científicos más elementales, existen aún serias deficiencias en el pensamiento propio de las operaciones concretas (7-11 años) que impiden a los niños el uso de un verdadero pensamiento científico. De hecho, éste no será posible sin el dominio de las llamadas *operaciones formales*, correspondientes según Piaget al último estadio del desarrollo cognitivo, que se volvería accesible a partir de la adolescencia.

En realidad podemos considerar el pensamiento formal piagetiano como una caracterización psicológica del pensamiento científico. El pensamiento formal piagetiano no sería sino un análisis psicológico de los procesos y estructuras necesarios para enfrentarse a la realidad con la mentalidad de un científico. Razonar formalmente es razonar de un modo científico (Lawson, 1985). ¿Pero qué es razonar formalmente? Expondremos brevemente la respuesta piagetiana a esta pregunta, describiendo las características generales del pensamiento formal, para a continuación plantear algunas de las implicaciones de este modelo para la elaboración de un currículo de Ciencias de la Naturaleza.

1.1.1 Características generales del pensamiento formal

Parte de las características del pensamiento formal provienen de la propia concepción piagetiana sobre la psicología genética (un buen resumen original puede encontrarse en Piaget, 1970a). Piaget considera que los sucesivos tipos de inteligencia que acabamos de describir se corresponden con distintos estadios en el desarrollo cognitivo, de forma que éste consiste en la construcción de estructuras intelectuales de complejidad creciente, que en el caso de las operaciones concretas y formales pueden incluso formalizarse mediante un lenguaje lógico.

En otras palabras, Piaget propone un modelo evolutivo basado en el *cambio estructural*, de tal forma que a cada estadio le corresponderían estructuras intelectuales y formas de pensar cualitativamente distintas. El pensamiento científico sería la forma de pensar que característicamente aparecería en torno a la adolescencia, sin que ello necesariamente implique que todos los adolescentes y adultos deban de razonar siempre de un modo formal o científico, ya que siguen conservando las formas más elementales de inteligencia, aunque subordinadas a una nueva estructura más compleja, que hace posible una aproximación científica a la realidad.

Al describir las características del pensamiento formal suele diferenciarse entre sus rasgos estructurales y sus manifestaciones funcionales (para una descripción detallada de unos y otros véase Carretero, 1985a; Castorina y Palau, 1981; o Flavell, 1963). Las características *estructurales* del pensamiento formal vienen definidas precisamente por las estructuras lógicas subyacentes que diferencian a este estadio del anterior, según el modelo de cambio estructural piagetiano. Buena parte de la obra de Inhelder y Piaget (1955; también Piaget e Inhelder, 1951) está dedicada a desarrollar esas estructuras lógicas subyacentes, que serían dos:

- a) El grupo INRC o grupo de las cuatro transformaciones, que permite la comprensión de tareas y situaciones en las que interactúa más de un sistema de causas para producir un cambio.
- b) El retículo de las 16 operaciones posibles a partir de un enunciado lógico binario, que permite realizar, si la tarea lo requiere, la combinatoria de todas las relaciones lógicamente posibles.

A pesar de su importancia dentro de la teoría piagetiana, estos rasgos estructurales han recibido escasa atención desde su formulación (una buena excepción se encuentra en Castorina y Palau, 1981), posiblemente debido a la opacidad de su exposición en Inhelder y Piaget (1955) y a que resultan difícilmente aplicables a tareas específicas, por lo que su valor *heurístico* es muy escaso. Sin embargo, como veremos más adelante tienen un claro reflejo en los esquemas operatorios formales, otro concepto piagetiano desaprovechado hasta la fecha en la investigación sobre la comprensión adolescente de la ciencia.

Más eco han tenido las llamadas características *funcionales*, que vendrían a ser los rasgos que diferencian al acercamiento científico a

un problema de otras formas de pensamiento (Carretero, 1985a; Pozo y Carretero, 1986). La mejor manera de presentar estos rasgos es precisamente compararlos con los del estadio precedente.

En primer lugar, el pensamiento concreto, como su propio nombre indica, estaría centrado en la realidad inmediata. Aunque el niño capaz de usar las operaciones concretas puede ya ir más allá de las apariencias perceptivas por medio de la conceptualización, su pensamiento sigue ligado a lo concreto, a lo real, más que a lo posible. Diríamos que el pensamiento concreto trabaja con y sobre un dominio de objetos constituido por parámetros del mundo real. En cambio, las operaciones formales trascienden lo real, el "aquí y ahora", para plantearse, en un mismo nivel de análisis, lo potencial o lo posible. Las operaciones formales, en cuanto descripción psicológica del pensamiento científico, no se referirían tanto a la realidad próxima como al conjunto de las realidades posibles. En el pensamiento formal, *lo real pasa a ser un subconjunto de lo posible*. La ciencia no se refiere nunca a una realidad concreta, aunque pueda aplicarse a ella, sino que se refiere sobre todo a lo posible y a lo necesario. Trata de establecer ciertas leyes necesarias en lugar de ocuparse sólo de la realidad contingente, como haría una persona que utilizase un pensamiento concreto. Las leyes de la mecánica han de explicar tanto el movimiento de los objetos más próximos, perceptibles aquí y ahora, como el comportamiento de los más lejanos planetas o de las sondas espaciales que se desplazan en el vacío. En cambio, el pensamiento concreto opera sólo sobre la realidad inmediata.

De esta primera diferencia surge una segunda muy importante. Si las operaciones formales no trabajan con objetos del mundo real sino con dimensiones y variables posibles, operarán no con objetos físicos sino con operaciones —concretas, por supuesto— previamente realizadas con esos objetos. Las operaciones formales serán operaciones de segundo orden u "operaciones sobre operaciones" (Piaget, 1947). Ello supone que las operaciones formales se basan en representaciones proposicionales de los objetos más que en los objetos mismos. Este *carácter proposicional* supone que el pensamiento formal se apoya en un código o formato de representación distinto al del pensamiento concreto, que requerirá algún tipo de lenguaje o sistema de representaciones analíticas, frente al carácter más analógico del pensamiento concreto. El álgebra o el lenguaje químico son claros ejemplos de ese carácter proposicional del pensamiento científico.

Las dos características anteriores hacen posible el rasgo funcional más importante del pensamiento formal: *su naturaleza hipotético-deductiva*. Al superar la realidad inmediata, las operaciones formales permiten no sólo buscar explicaciones de los hechos que vayan más allá de la realidad aparente sino además someterlas a comprobaciones sistemáticas. Estos dos procesos, la *formulación* y la *comprobación* de hipótesis, están estrechamente vinculados y diferencian al pensamiento formal de otros tipos de pensamiento más elementales, en los que la persona puede buscar ciertas explicaciones para los hechos, pero éstas no pasan de conjeturas o suposiciones ya que no son sometidas a comprobación. En la ciencia esta comprobación se realiza bien por experimentación basada en el control de variables, bien por evaluación de casos o situaciones percibidas y supone un rasgo esencial que diferencia al pensamiento científico de otras formas abstractas de pensamiento (religioso, filosófico, etc.).

Como puede verse, estas tres características son lo bastante generales como para abarcar todas las modalidades del pensamiento científico. Es difícil, si no imposible, pensar en alguna forma de actividad científica, sea en el área de lo natural o de lo social, que no trascienda lo real por medio de un lenguaje que implique un dominio de representación propio y que no se base en procedimientos de formulación y comprobación de hipótesis. Sin embargo, este mismo carácter general hace difícil el uso del pensamiento formal como criterio de análisis de tareas científicas específicas. De hecho, las características generales del pensamiento formal, tanto las funcionales como en mayor medida las estructurales, aunque sean muy comprensivas como modelo psicológico del conocimiento científico, no son de mucha ayuda para la secuenciación u organización de contenidos en situaciones didácticas concretas. A pesar de algunos intentos de secuenciar la comprensión de conceptos científicos específicos a partir de la distinción entre operaciones concretas y formales (por ej., Aguirre de Cárcer, 1985; Shayer y Adey, 1981), la distancia entre unos y otros parece seguir siendo demasiado grande. Esto ha limitado la aplicabilidad del modelo piagetiano a la didáctica de las ciencias. Sin embargo, los propios Inhelder y Piaget (1955), dentro de su teoría de las operaciones formales, incluían un concepto que puede servir de puente entre esas características generales y el dominio de nociones científicas específicas. Se trata de los llamados esquemas operatorios formales.

1.1.2 Los esquemas operatorios formales

En el último capítulo de su libro, Inhelder y Piaget (1955) proponen la existencia de ocho esquemas operatorios formales que se adquirirían de modo solidario u homogéneo a partir del dominio del pensamiento formal, definido por los rasgos estructurales y funcionales antes mencionados. A pesar de la importancia que estos esquemas tienen en la teoría piagetiana y de su potencial relevancia didáctica, han sufrido, como señala Carretero (1985a) un injusto y a veces incomprensible olvido en los estudios posteriores de réplica o aplicación de la teoría piagetiana. Ni siquiera los intentos de conectar el pensamiento formal con la comprensión de la ciencia suelen apoyarse en este concepto (por ej., Herron, 1975; Lawson, 1985; Shayer y Adey, 1981).

Sin embargo, según Inhelder y Piaget (1955, pág. 259 de la trad. cast.), estos esquemas serían *“las nociones que el sujeto puede construir a partir del nivel formal, cuando se encuentra ante ciertos datos, pero cuya adquisición no manifiesta fuera de estas condiciones”*. Se trata por tanto de formas de pensar o conceptualizar accesibles a partir del pensamiento formal que sólo se actualizan ante tareas concretas, ya sea espontáneamente o a través de la instrucción. Tendrían tres características definitorias (*op. cit.*, pág 260):

- a) Tener un nivel de generalidad o inclusión intermedio entre las características generales antes enunciadas y las nociones específicas.
- b) Hallarse más en la mente de las personas que en los objetos. Es decir, serían esquemas o modelos que las personas aplicamos a la realidad para interpretarla o asimilarla. Este es un rasgo que Piaget (1971) atribuye también al pensamiento causal por oposición al lógico.
- c) Estar emparentados con las características estructurales del pensamiento formal, de las que dependerían.

Además de estas tres características, Inhelder y Piaget (1955) destacan una cuarta, propia del modelo estructural piagetiano, al que volveremos más adelante. Los autores ginebrinos suponen que los diversos esquemas formales se adquieren de un modo solidario o “sincronizado”, ya que todos ellos participarían de la “estructura de conjunto” característica de las operaciones formales y de la mente homogénea defendida por la teoría piagetiana.

Pero ¿cuántos y cuáles son los esquemas formales? Inhelder y Piaget identifican ocho esquemas diferentes, pero emparentados, aunque como apunta Carretero (1985a) tal vez no agoten todos los posibles. Esos ocho esquemas serían brevemente los siguientes.

1. *Las operaciones combinatorias*, que hacen posible, dada una serie de variables o proposiciones, agotar todas las combinaciones posibles entre ellas para lograr un determinado efecto. Operaciones de este tipo serían las combinaciones, las variaciones y las permutaciones (Piaget e Inhelder, 1951), pero también sería necesario el uso de este esquema en tareas científicas que implicaran la búsqueda de una determinada combinación, como el control de variables. Se trata no obstante de operaciones deducibles de las acciones de las personas ante tareas que requieran su uso, pero sin que ello implique que esas personas sean conscientes de estar usándolas.
2. *Las proporciones*, cuyo uso permite cuantificar las relaciones entre dos series de datos, estarían emparentadas estructuralmente con el grupo INRC y estarían implicadas en la comprensión de numerosos conceptos no sólo matemáticos sino también científicos.
3. *La coordinación de dos sistemas de referencia*, también conectada con el INRC, sería un esquema necesario para comprender todas aquellas tareas o situaciones en las que exista más de un sistema variable que pueda determinar el efecto observado, desde la situación cotidiana del manejo de una cámara fotográfica coordinando apertura de diafragma y tiempo de exposición (Carretero, 1985a) a la comprensión de nociones científicas sociales o naturales.
4. *La noción de equilibrio mecánico*, que implica la comprensión el principio de igualdad entre acción y reacción dentro de un sistema dado, requiere la compensación operatoria —es decir mental, no real— entre el estado actual del sistema y su estado virtual o posible si se realizan ciertas acciones en él. Según Inhelder y Piaget (1955) estos serían los cuatro esquemas básicos, de los que se derivarían los cuatro restantes:
5. *La noción de probabilidad*, vinculada a la comprensión del azar y por tanto de la causalidad (Piaget e Inhelder, 1951) tiene relación tanto con las nociones de proporción como con los esquemas combinatorios y sería útil tanto para la solución de problemas

matemáticos como para la comprensión de fenómenos científicos no determinísticos.

6. *La noción de correlación* estaría vinculada tanto a la proporción como a la probabilidad y sería necesaria para determinar la existencia de una relación causal “ante una distribución parcialmente fortuita”. En otras palabras, implicaría la comparación entre la probabilidad de ocurrencia de un hecho en presencia y en ausencia de un antecedente. Sería necesaria para el análisis de datos y la experimentación científica en tareas complejas o ante fenómenos probabilísticos.
7. *Las compensaciones multiplicativas* requerirían el cálculo de la proporción inversa de dos variables para la obtención de un determinado efecto. Frente a las compensaciones aditivas propias de las operaciones concretas (por ej., dada una cantidad fija de plastilina con la que vamos haciendo figuras, a más longitud de estas menor sería su grosor), este esquema supone el uso de la proporción y permite acceder a conceptos tales como la conservación del volumen o la comprensión del principio de Arquímedes, además de otras muchas leyes científicas que implican una relación proporcional inversa entre dos variables.
8. *Las formas de conservación que van más allá de la experiencia*, conectadas con la noción de equilibrio mecánico, supondrían el establecimiento de leyes de la conservación sobre no observables. Frente a las conservaciones propias del pensamiento concreto (cantidad de sustancia, peso, etc.) o de los inicios del pensamiento formal (volumen, velocidad), que tienen un apoyo perceptivo —puede percibirse alguna característica que permanece tras un cambio o una acción— estas conservaciones no observables no tienen ningún apoyo perceptivo, sino al contrario: “*existen nociones de conservación que la experiencia verifica en un sentido negativo, porque no las contradice jamás, pero que no logra verificar del todo de modo positivo, porque esa verificación superaría los límites dados de tiempo y espacio o entraría en contradicción con las condiciones físicas en las que opera el experimentador*” (Inhelder y Piaget, 1955, pág. 276 de la trad. cast.). La conservación de la energía o del movimiento rectilíneo y uniforme serían conceptos cuya comprensión requeriría la aplicación de este esquema.

Inhelder y Piaget (1955) suponían, de acuerdo con su modelo estructural, que la capacidad o competencia para operar con estos ocho esquemas se adquiriría de un modo solidario o simultáneo, si bien la actualización de esa competencia o actuación con cada uno de los esquemas podría depender también de ciertas condiciones de experiencia personal o educativa en las que fueran útiles para la construcción de nociones específicas. En cualquier caso, la teoría piagetiana apenas se ocupa de cuáles serían esas condiciones, centrándose en la relación entre los esquemas y las estructuras lógicas del pensamiento formal. En este sentido, los esquemas, en cuanto operaciones formales, serían solidarios no sólo de sus características generales, descritas en el apartado anterior, sino también de una serie supuestos sobre su naturaleza y funcionamiento que poseen serias implicaciones para el diseño curricular en Ciencias de la Naturaleza.

1.1.3 Implicaciones del modelo piagetiano para el Currículo

Aunque Piaget afirmara no estar directamente interesado en la enseñanza, los supuestos básicos de su psicología genética poseen serias implicaciones educativas, algunas de las cuales están reflejadas en el D.C.B., desde la correspondencia entre los estadios piagetianos y los ciclos educativos hasta, en el caso de la Secundaria Obligatoria, el propósito explícito de alentar el desarrollo del pensamiento formal. Más allá de su relevancia para la comprensión de nociones científicas específicas, la teoría piagetiana de las operaciones formales parte de unos supuestos sobre la arquitectura cognitiva del alumno sobre los que es importante reflexionar, ya que podrían afectar también a la arquitectura del currículo. Estos supuestos, no siempre explícitos en los escritos de Piaget, serían los siguientes (Pozo y Carretero, 1986, 1987):

- a) Los adolescentes, a partir de los 11-12 años, poseen un pensamiento cualitativamente distinto al de los niños pero similar al de los adultos, ya que a partir del acceso al pensamiento formal no hay ya progresos estructurales sino únicamente acumulación de nuevos conocimientos. Por tanto el pensamiento formal es la forma característica de pensar de los adolescentes pero también, y muy especialmente, de los adultos. Fomentar el desarrollo del pensamiento formal es por tanto una de las formas de alentar

el paso de una inteligencia adolescente —o de transición de las operaciones concretas a las formales— a una inteligencia adulta plenamente formal.

- b) En condiciones normales de escolarización, el pensamiento formal es casi universal, es decir, la mayor parte de los adolescentes mayores de 15 años y los adultos serían capaces de utilizar espontáneamente formas de pensamiento formal. Aunque las relaciones entre aprendizaje y desarrollo son reconocidamente ambiguas en la obra de Piaget (por ej., Carretero, 1985b), su teoría es ante todo una teoría del desarrollo y no una teoría de la educación. No obstante, esa teoría del desarrollo puede ser prescriptiva para la enseñanza de la ciencia, siempre que creamos que ésta debe basarse en procesos psicológicos similares a los que se producen en el desarrollo “espontáneo” (es decir, no planificado mediante la instrucción) del alumno. Es este un punto sobre el que volveremos más adelante.
- c) El pensamiento formal está basado en el desarrollo de estructuras lógicas de carácter general que subyacen al uso de cada uno de los esquemas u operaciones formales. En consecuencia, el pensamiento formal constituye un “sistema de conjunto”, o si se prefiriera así, un modo de pensar homogéneo. Una vez que construye esas estructuras lógicas, el alumno está capacitado para resolver cualquier tarea que requiera el uso de las operaciones formales, con independencia de cuál sea el esquema operatorio implicado. En otras palabras, el pensamiento formal es, con mayor motivo que el resto de los estadios, una inteligencia general en vez de una serie de habilidades específicas. Este punto es potencialmente muy importante para la estructura del currículo, ya que, junto con el siguiente, implicaría una posición muy clara con respecto a la opción entre estructura disciplinar o global.
- d) En conexión con lo anterior, el pensamiento formal, dado su carácter proposicional, atiende a la estructura de las relaciones lógicas y no a los contenidos concretos de las tareas. Es decir, la homogeneidad del pensamiento formal no sólo afecta a un uso solidario de los diversos esquemas sino también a su aplicación por igual a diversos dominios de conocimiento. Lo que determina la complejidad de una tarea es la estructura lógica de las operaciones necesarias para resolverla —que se refleja en la necesidad o

no de utilizar alguno de los esquemas formales— pero no su contenido. Por tanto, el pensamiento formal o científico se adquiere de uno modo general, no para su uso en contextos específicos. Aunque, como veremos más adelante, Piaget (1970b) reformularía parcialmente su posición para hacerla compatible con ciertos datos empíricos, su opción por una inteligencia general, “transdisciplinar” o global, siguió vigente en su teoría (Piaget y García, 1971).

Los cuatro supuestos anteriores son un buen punto de partida para reflexionar sobre las implicaciones curriculares de la teoría piagetiana de las operaciones formales. Al suponer que la construcción del conocimiento científico se halla subordinada a un proceso de desarrollo de estructuras generales de conocimiento, la propia enseñanza de la ciencia deberá, desde los supuestos piagetianos, adecuarse a ese desarrollo cognitivo general. La más obvia implicación es por tanto que la enseñanza de la ciencia debe adecuarse al nivel cognitivo de los alumnos (Gutiérrez, 1984) e incluso, yendo más allá, debe promover niveles más elevados de desarrollo cognitivo o acelerar éste (Por ej., Fuller, Karplus y Lawson, 1977; Lawson, 1985; o más recientemente Adey y Shayer, 1989; Shayer y Adey, en prensa; Csapo, en prensa; Goossens, 1989). No es casual que los esfuerzos didácticos basados de forma más o menos directa en la obra de Piaget hayan tendido a situar el acceso a los propios estadios piagetianos como uno de sus objetivos prioritarios. De uno modo más específico, las adaptaciones curriculares basadas en la teoría piagetiana —por desgracia no muy sistemáticas, con algunas excepciones relevantes como el SCIS, o los trabajos del AESOP con Karplus y Lawson a la cabeza— basan su estructura en la arquitectura psicológica del alumno adolescente.

Ante todo, el estadio de las operaciones formales es un período cognitivamente diferenciado de los períodos anteriores. En otras palabras, el adolescente es capaz de pensar y de concebir la realidad de un modo distinto al de los niños. Este salto cualitativo justifica la *existencia de una etapa educativa claramente diferenciada de la anterior*, tanto en sus objetivos, como en sus contenidos y métodos. En el caso del conocimiento científico, muchos conceptos y formas de pensamiento inaccesibles a las operaciones concretas pueden ya ser utilizadas y ejercitadas por los adolescentes.

Pero ese pensamiento formal posee, según Piaget, una “estructura de conjunto”. No se trata de destrezas adquiridas separadamente sino de un sistema de operaciones integradas las unas en las otras. Por tanto, parece razonable también fomentar esas habilidades de forma global o integrada. Si los esquemas operatorios formales se adquieren solidariamente y son en gran medida independientes del contenido al que se aplican, la estrategia didáctica más razonable sería fomentarlos también de uno modo global o conjunto. En la epistemología genética piagetiana, las estructuras o las formas predominan sobre los contenidos, que se derivarían a partir de aquellas. *Un enfoque de ciencia integrada durante la adolescencia* parece más coherente con la posición piagetiana, ya que permite que la enseñanza de la ciencia se organice en torno a esas estructuras más generales de conocimiento, en lugar de centrarse en contenidos específicos que, según la propia teoría, resultan secundarios. La necesidad de organizar el currículo a partir de las estructuras cognitivas del alumno —que, como señala Gutiérrez (1984) tiene en Piaget una base epistemológica más que psicológica o didáctica— desplaza necesariamente las aportaciones disciplinares a un segundo plano, subordinado a los propios condicionantes psicológicos (Pozo, 1987a).

La predominancia de los aspectos formales sobre los contenidos específicos en el pensamiento formal piagetiano (al fin y al cabo es eso: pensamiento “formal”) ha supuesto también un énfasis mayor en los procesos generales de pensamiento que en los conocimientos disciplinares. Dentro de la falsa —pero muy habitual— contraposición entre métodos y conceptos, el pensamiento formal sería ante todo un método o forma nueva de pensar que permite acceder a nuevos contenidos o conceptos. Por consiguiente, los desarrollos curriculares basados en la obra de Piaget han centrado la enseñanza de la ciencia en el *fomento de habilidades y estrategias de pensamiento científico* (formulación y comprobación de hipótesis, control de variables y experimentación, razonamiento combinatorio, solución de problemas, etc.) más que en la transmisión de los sistemas conceptuales de la ciencia. Aunque ha habido algunos intentos de analizar los conceptos científicos en términos de estadios piagetianos (por ej., Aguirre de Cárcer, 1985; Herron, 1975; Shayer y Adey, 1981; véase un resumen en Gutiérrez, 1984) no han sido hasta la fecha demasiado fructíferos, ya que en muchos casos resulta muy difícil vincular un concepto específico con los rasgos o capacidades generales que definen al pensamiento formal (para un análisis de alguno

de estos intentos en relación con la comprensión de conceptos químicos véase más adelante el apartado 7.1.1). Aunque ese vínculo pudiera lograrse a través de los esquemas operatorios formales y no a través de taxonomías menos claras, lo cierto es que el pensamiento formal tiene una conexión más directa con las formas o procedimientos generales de razonamiento que con los conceptos específicos. De hecho, tanto los tests como las tareas utilizadas para evaluar el desarrollo del pensamiento formal suelen centrar su análisis en los procedimientos utilizados por el alumno para resolver problemas más que en los conceptos o nociones que utiliza para comprenderlos. Ello, como veremos más adelante, no supone que la obra de Piaget carezca de aportaciones sustantivas con respecto a la comprensión de conceptos científicos sino más bien que, partiendo de una fe racionalista en la "omnipotencia lógica" (Pozo y Carretero, 1987), supone que, una vez dominados los procedimientos del pensamiento científico, estos podrían aplicarse a cualquier área o tarea, con independencia de los conceptos implicados.

Este último supuesto ha llevado también a que la enseñanza de la ciencia basada en la obra piagetiana se apoye esencialmente en *metodologías didácticas basadas en el descubrimiento o la investigación*, más que en la exposición o transmisión de conocimientos. Obviamente, la mejor forma de adquirir procedimientos y estrategias es ejercitarlos en la solución de problemas. Si queremos que el alumno aprenda a pensar de una forma análoga a la de un científico, lo mejor es enfrentarle a situaciones en las que deba poner en funcionamiento habilidades similares a las de un científico (observar, medir, formular hipótesis, experimentar sobre ellas, etc.). Además, dado que el pensamiento formal supera las "resistencias de los objetos" (Piaget y García, 1971) y puede ser aplicado por igual a todos los contenidos, enseñar a pensar de un modo científico mediante la investigación dirigida será no sólo lo más razonable sino también lo más económico. En lugar de enseñarle uno a uno los conceptos científicos, será más eficaz proporcionar al alumno la capacidad de descubrirlos o construirlos por sí mismo. Desde la perspectiva de la "omnipotencia" del pensamiento formal, el método científico puede constituirse en método didáctico. O, dicho en otros términos, no se diferencia entre procesos y resultados del aprendizaje (Araujo y Chadwick, 1975), una distinción útil y necesaria (Gagné, 1985; Pozo, 1990b). Este supuesto, común a numerosos desarrollos piagetianos y pospiagetianos en muchas y diversas áreas, ha dado lugar a confusiones didácticas que no han sido del todo superadas (Pozo, 1990a) y que

se derivan en buena medida de que se trata de un supuesto empíricamente falso. No parece que el pensamiento formal, a la luz de los datos actuales, sea tan general e independiente del contenido como la teoría piagetiana suponía. Un breve repaso a esos datos nos indicará algunas de las críticas e insuficiencias del pensamiento formal en su aplicación al diseño curricular en Ciencias de la Naturaleza, críticas que justifican en parte la orientación tomada en los últimos años por la investigación en este área, basada en el estudio de la comprensión de nociones específicas por los alumnos en vez de en el estudio de capacidades o habilidades generales.

1.1.4 Datos actuales sobre el desarrollo del pensamiento formales ¿capacidades generales o conocimientos específicos?

Aunque en los últimos años la avalancha de estudios sobre el pensamiento formal en adolescentes y adultos habida en la década de los setenta ha decaído bastante, son muy abundantes los datos de que disponemos hoy sobre el desarrollo del pensamiento formal. No es nuestro propósito revisarlos aquí, ni tan siquiera resumirlos (véanse las excelentes revisiones de Carretero, 1980, 1985a; Lawson, 1985). Nos limitaremos a esbozar las tendencias generales que se derivan de esos estudios, así como las implicaciones para la comprensión y enseñanza de la ciencia.

Tal como señala Lawson (1985) los resultados obtenidos en las últimas décadas con respecto al desarrollo del pensamiento formal son en su mayor parte consistentes con la teoría desarrollada por Inhelder y Piaget (1955). De hecho, si situamos esta teoría en el contexto científico en que se produce hay que reconocerle el mérito indudable de haber creado un nuevo área de investigación, que con el tiempo se ha mostrado enormemente fructífera. La obra de Inhelder y Piaget no sólo constituye el primer intento sistemático de investigación psicológica sobre el pensamiento científico, sino que posiblemente aún hoy sigue siendo el más completo estudio sobre el tema. Las quince tareas diseñadas por Inhelder y Piaget (1955), a pesar de la manifiesta vaguedad de algunas de sus descripciones (Lawson, 1985) siguen siendo utilizadas y analizadas minuciosamente por investigadores en los más diversos rincones del mundo científico.

Pero junto a estas aportaciones, hay que reconocer que las formulaciones piagetianas se han encontrado, en algunos aspectos cruciales de su teoría, con fuertes datos en contra. Sin exponer de un modo exhaustivo estos desacuerdos empíricos (véase Carretero, 1985a), nos detendremos únicamente en aquellos datos que afectan a las implicaciones curriculares esenciales de la teoría piagetiana, antes mencionadas.

En primer lugar, los datos acumulados arrojan serias dudas sobre la propia existencia de estadios en el desarrollo cognitivo y más concretamente sobre la existencia del estadio operacional formal. El escaso número de sujetos adolescentes e incluso adultos que resuelven formalmente tareas científicas —situado en torno a un 50% en el mejor de los casos— junto con la inconsistencia en el uso del pensamiento formal por un mismo sujeto de un contexto a otro ponen en duda la utilidad del concepto de estadio. Si una persona actúa de un modo “formal” ante una tarea y de un modo “concreto” ante otra tarea aparentemente similar, el interés de los investigadores —y de los educadores— se desvía de las estructuras cognitivas a los factores contextuales que facilitan o dificultan su aplicación a las tareas.

Uno de los aspectos más debatidos en los últimos años con respecto al pensamiento formal es si éste constituye o no una “estructura de conjunto” tal como Inhelder y Piaget (1955) afirmaban. Aunque numerosos estudios han encontrado notables inconsistencias en el uso de esquemas o habilidades formales (véase Carretero, 1985a; Martorano, 1977), otros autores sostienen haber encontrado correlaciones entre tareas formales estadísticamente significativas, por lo que suponen que éste constituye un sistema de conjunto (por ej., Demetriou, Efklides y Gustafsson, en prensa; Lawson, 1977; Shayer y Adey, 1981). El propio Piaget (1970b) reconoció estas inconsistencias, pero su intento de explicación en términos de “experiencia previa” con el área de conocimiento determinado, si bien coincide notablemente con la dirección que están tomando los estudios actuales sobre expertos y novatos, dista mucho de ser satisfactoria e incluso coherente con su propia teoría.

La existencia de estos datos encontrados ha supuesto un doble desarrollo teórico. Por un lado, al amparo de los modelos neopiagetianos, se han intentado postular nuevas estructuras que den cuenta de la homogeneidad del pensamiento formal, más o menos alejadas de los supuestos logicistas de Piaget (por ej., Case, 1985; Demetriou, 1988; Halford, 1982; Pascual-Leone, 1980). Por otro lado, se ha tendido a formular modelos más específicos que predigan de modo detallado

la actuación de los sujetos en tareas concretas. Como señala Case (en prensa) "*los investigadores han empezado a concebir el desarrollo de los niños como algo más específico del contexto, la tarea o el dominio de lo que la teoría de Piaget suponía*". Esta importancia creciente de los conocimientos específicos de la tarea frente a las estructuras generales del conocimiento científico no es exclusiva de los estudios sobre el desarrollo del pensamiento formal ni tampoco de la psicología evolutiva (Flavell, 1985), sino que parece constituir un rasgo definitorio de la actual psicología cognitiva del pensamiento (Pérez Echeverría, 1989a; Pozo, 1988b). Frente a los modelos generales o formales formulados en sus inicios, se concede cada vez más importancia a los conocimientos específicos en la solución de tareas. Del Solucionador General de Problemas de Newell y Simon (1972) se ha pasado a estudiar las diferencias entre expertos y novatos en la solución de problemas específicos (Chi, Glaser y Farr, 1988). Las diferencias evolutivas se han reinterpretado, desde esta perspectiva, como diferencias en el grado de *expertise* o pericia en dominios de conocimiento específicos (por ej., Carey, 1985a; 1988). De hecho, esta interpretación es coherente con los datos que muestran que los adolescentes tienen un rendimiento similar en tareas científicas al de los adultos universitarios novatos en un área, sean de ciencias naturales (Pozo y Carretero, en prensa) o de ciencias sociales (Pozo y Carretero, 1989). Sin embargo, estos mismos estudios vienen a mostrar que, en esas áreas específicas de conocimiento, el pensamiento de adolescentes y adultos no es completamente heterogéneo, sino que parece formar parte de una estructura conceptual común. Aunque centremos nuestro análisis en la comprensión de nociones científicas específicas en lugar de ocuparnos de los procesos de pensamiento en general, como hacen las investigaciones piagetianas, habremos de estudiar la forma en que las ideas específicas se organizan dentro de estructuras más generales (Carey, 1985a; Case, en prensa).

La conclusión más razonable a partir de todos estos datos encontrados parece ser por tanto que el pensamiento científico no constituye un sistema tan homogéneo como la teoría piagetiana predecía pero tampoco tan heterogéneo como algunos otros autores suponen. El problema de la heterogeneidad/homogeneidad del pensamiento, muy ligado al problema de los estadios en psicología evolutiva (Flavell, 1982; también Carey, 1985b) parece requerir teorías o modelos que expliquen tanto la generalidad como la especificidad del conocimiento (Bidell y Fischer, en prensa), lo cual sólo será posible en la medida en que se conceda a los

conocimientos específicos una función mayor de la que las operaciones formales les atribuían.

En la investigación sobre enseñanza de la ciencia esa importancia creciente de los conocimientos específicos sobre los procesos generales del pensamiento formal ha venido de la mano de los numerosos estudios realizados en los últimos quince años sobre las ideas previas o concepciones alternativas de los alumnos sobre muy diversos fenómenos científicos. Estos estudios constituyen de hecho un enfoque alternativo que ha venido en buena medida a reemplazar al piagetiano en la investigación sobre enseñanza de la ciencia. Buena parte de los datos en contra del pensamiento formal como estadio o estructura general del conocimiento científico proceden de —o terminan en— estudios sobre las concepciones alternativas en los alumnos. Un análisis de estos estudios nos permitirá determinar si constituyen a su vez una alternativa teórica a la obra de Piaget, así como las implicaciones didácticas y curriculares que de los mismos se derivan.

1.2 EL ENFOQUE DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN LA COMPRESION DE LA CIENCIA

Si la década de los setenta fue para la enseñanza de la ciencia la “edad de Piaget”, la recién terminada década de los ochenta puede calificarse muy bien como la “época de las concepciones alternativas”. La insatisfacción con el concepto piagetiano de estadio (Driver y Easley, 1978; Gilbert y Swift, 1985), unida a otros varios factores psicológicos y didácticos, hizo que las investigaciones se fueran orientando progresivamente hacia el estudio de las ideas de los alumnos sobre fenómenos científicos específicos. A pesar de que, como señalaran ya Driver y Easley (1978), los primeros estudios sobre esas concepciones científicas propias de los alumnos se deben al propio Piaget (por ej., 1927, 1946 y más recientemente 1973, 1974), este cambio de orientación ha supuesto un abandono de las posiciones piagetianas. En su lugar, ha aparecido un nuevo enfoque que, lejos de la coherencia y la firmeza de la obra de Piaget, está constituido por un número creciente de aportaciones, cuya abundancia y dispersión hace difícil un análisis riguroso.

La dificultad del análisis “biográfico” de este enfoque comienza en su mismo bautismo. Los diversos autores que confluyen en él, no

se ponen de acuerdo en una misma denominación. Comúnmente conocido bajo la indefinida y vaga etiqueta de “enfoque constructivista” —que no sirve, por ejemplo, para diferenciarlo del piagetiano— ha recibido casi tantos nombres como autores se han acercado a él. Giordan y de Vecchi (1987) afirman haber encontrado hasta 28 denominaciones distintas para referirse a las ideas de los alumnos sobre los hechos científicos. Lejos de ser una cuestión menor, este desacuerdo terminológico refleja las diferentes formas de entender la naturaleza y función de las ideas de los alumnos sobre la ciencia, que en último extremo dependen de la posición epistemológica adoptada por cada autor y del concepto de “concepto” que adopte (Andersson, 1986; Furió, 1986; Gilbert y Watts, 1983).

Estas diversas posiciones van desde los “preconceptos” ausubelianos, o las “concepciones erróneas” (Helm y Novak, 1983), que destacan el carácter científicamente equivocado o poco elaborado de las ideas de los alumnos, a la “ciencia de los niños” (Osborne y Freyberg, 1985), las “concepciones espontáneas” (Pozo y Carretero, 1987) o las “teorías-en-acción” (Driver y Erickson, 1983), que ponen el énfasis en el carácter personal de esas construcciones. Aunque en muchos casos estos términos puedan ser intercambiables, introducen matices diferenciales. En este apartado, siguiendo la terminología de Gilbert y Swift (1985), nos referiremos a estas ideas como “concepciones alternativas” de los alumnos sobre los fenómenos científicos.

Pero más allá del mero etiquetado verbal, es necesario profundizar en los rasgos o características que definen a esas concepciones alternativas y en sus implicaciones para la enseñanza de la ciencia y el diseño curricular.

1.2.1 Características de las concepciones alternativas

A diferencia de lo que sucede con la teoría piagetiana de las operaciones formales, que se presenta como un modelo unitario, coherente e integrado, el enfoque de las concepciones alternativas tiene más bien la estructura de una “categoría natural”, según la definición que hace Rosch (1978) de los conceptos, como entidades vagas, difusas y difícilmente definibles. Podríamos decir que, en coherencia con el modelo de alumno que proponen, la teoría piagetiana es una, grande y homogénea, mientras que las concepciones alternativas son muchas, pequeñas (o específicas) y heterogéneas. A pesar de esta diversidad, de los muchos

intentos realizados al efecto (por ej., Driver, 1986, 1988; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Osborne y Freyberg, 1985; Pozo y Carretero, 1987; Serrano, 1988) pueden extraerse algunas características comúnmente aceptadas en las concepciones alternativas, que constituirían, en la terminología de Lakatos (1978) el núcleo firme de este enfoque (Gilbert y Swift, 1985).

Ante todo, suele destacarse que estas concepciones son *construcciones personales* de los alumnos, es decir, elaboradas de modo más o menos espontáneo en su interacción cotidiana con el mundo. De hecho, muchas de ellas son previas a la instrucción, teniendo su dominio natural de aplicación en el entorno cotidiano del alumno. Como señala Driver (1981) desde la cuna los niños están percibiendo el movimiento, el sonido, la luz de los objetos, y prediciendo de modo más o menos fiable su comportamiento. Se forman así estas concepciones que aunque suelen ser *incoherentes desde el punto de vista científico*, no tienen por qué serlo desde el punto de vista del alumno. De hecho, suelen ser bastante predictivas con respecto a fenómenos cotidianos, aunque no sean científicamente correctas. Esta incorrección proviene en parte de que son nociones difusas o poco diferenciadas que los alumnos usan de modo vago en función del contexto (Driver, 1988). Además, son *bastante estables y resistentes al cambio*, por lo que muchas veces persisten a pesar de muchos años de instrucción científica. Se han identificado no sólo en niños y adolescentes (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985) sino también entre adultos, incluso entre universitarios y dentro de su área de especialidad (por ej., en nuestro país, Jiménez Aleixandre, 1990; Pozo, 1987a; Sebastián, 1984). A pesar de ser construcciones personales y poseer un significado idiosincrático (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978) son *compartidas* por personas de muy diversas características (edad, país de procedencia, formación, etc.), existiendo en general unas pocas tipologías en las que puede clasificarse la mayor parte de las concepciones alternativas en un área dada. Esta universalidad llega incluso a trascender el tiempo, apareciendo en los alumnos actuales ideas similares a las elaboradas por filósofos y científicos eminentes de tiempos pasados en áreas tales como el calor (Strauss y Stavy, 1983; Wisner, 1988), la fuerza y el movimiento (McCloskey y Kargon, 1988; Pozo, 1987b), la naturaleza corpuscular de la materia (Llorens, en prensa) o la selección natural (Jiménez Aleixandre, 1990). Esta *similitud histórica* está siendo explotada como una fuente de sugerencias para la secuen-

ciación y organización de los contenidos (Gagliardi, 1989; Giordan y de Vecchi, 1987; Strauss, 1988), punto al que volveremos más adelante.

Un último rasgo propio de estas concepciones alternativas sería su *carácter implícito* frente a los conceptos explícitos de la ciencia (Furnham, 1988; Pozo y Carretero, 1987). Ello condiciona la metodología que puede utilizarse para estudiarlas (por ej., Cubero, 1988; Giordan y de Vecchi, 1987; West y Pines, 1985), ya que aunque en algunos casos se identifican estas concepciones a través del lenguaje (por ej., Llorens y de Jaime, 1987), las más de las veces se descubren implícitas en las actividades o predicciones de los alumnos, constituyendo teorías o ideas "en acción" (Driver y Erickson, 1983; también Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975) que los alumnos no pueden verbalizar.

Este vínculo de las ideas de los alumnos con la acción práctica cotidiana está muy conectada con los procesos psicológicos que están en el *origen* de estas concepciones espontáneas y que determinan en parte sus características. Diversos autores (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Gilbert, Osborne y Fensham, 1982; Pozo, 1987a; di Sessa, 1983) destacan el origen perceptivo de estas creencias, que les hace estar centradas en lo aparente, en lo observable y en lo que cambia, más que en otras variables o factores no observables que sólo son accesibles por elaboración conceptual. Este carácter fenomenológico sitúa a estas concepciones más cerca del pensamiento concreto, e incluso del preoperacional, que de las operaciones formales.

Además, suelen basarse en una causalidad simple y lineal (Andersson, 1986; Pozo, 1987a) y en una definición de los conceptos en términos absolutos más que como una relación entre otros conceptos previamente definidos (Driver, 1988). Junto a este origen sensorial o perceptivo de las concepciones de los alumnos hay también ideas que proceden del contexto lingüístico y cultural (Giordan y de Vecchi, 1987; Llorens y de Jaime, 1987; Serrano, 1988). Sin embargo, aunque existen diversas posiciones con respecto a la influencia de unos y otros factores con respecto al origen de las concepciones, el carácter fragmentario y exclusivamente descriptivo de los estudios realizados hasta la fecha no proporciona mucha información sobre la forma en que estas "construcciones personales" son realmente construidas, lo cual, como veremos más adelante, plantea problemas cuando se trata de diseñar situaciones didácticas que ayuden a los alumnos a superar estas concepciones.

Otro tanto sucede con otra de las características de las concepciones que mayores implicaciones tiene para el diseño curricular, la forma

en que dichas concepciones *están organizadas*. ¿Se trata de ideas aisladas o forman parte de una estructura conceptual común? ¿En qué tipo de representación están basadas? Estas preguntas, cruciales no sólo desde un punto de vista *psicológico sino también didáctico* (Giordan y de Vecchi, 1987) encuentran respuestas muy variables y, en general, poco precisas. Lo más que se suele decir de estas concepciones es que constituyen “estructuras mentales” o “esquemas”, pero sin que éstos términos adquieran en este contexto el significado representacional que se les atribuye hoy en psicología cognitiva (por ej., de Vega, 1984; Pozo, 1989). Algunos autores suponen que están organizadas en forma de “teorías implícitas” o “teorías personales” (por ej., Claxton, 1984; Driver y Erickson, 1983; Furnham, 1988; Pozo, 1987a), pero la investigación realizada hasta la fecha desde este enfoque tiende a tener un carácter fragmentario y descriptivo, no llegando en muchos casos ni siquiera a plantearse los problemas de representación y organización.

A pesar de los recientes desarrollos basados en la elaboración de “mapas conceptuales” por profesores y alumnos (Novak y Gowin, 1984) y de los escasos intentos de evaluar el grado de coherencia o consistencia de las concepciones alternativas de los alumnos a través de contextos o tareas (por ej., Engel Clough y Driver, 1986) la mayor parte de los estudios se centran en una o unas pocas tareas aisladas sin buscar apenas conexiones entre ellas y menos aún el lugar que ocupan dentro de la estructura cognitiva del alumno. De hecho, más allá de las características generales que acabamos de describir pocos rasgos más pueden predecirse desde este enfoque con respecto a esa estructura. Frente a la muy predictiva —aunque no siempre corroborada— teoría piagetiana, el nuevo enfoque ha acumulado una gran cantidad de datos descriptivos sobre las ideas de los alumnos en física, química, biología y geología (por ej., Archenhold *et al.*, 1980; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Helm y Novak, 1983; Hierrezuelo y Montero, 1988; Osborne y Freyberg, 1985; además de los numerosos artículos publicados en revistas como *International Journal of Science Teaching*, *Science Education*, *Studies in Science Education*, y en castellano *Enseñanza de las Ciencias*). Estos estudios han supuesto un considerable avance en nuestro conocimiento sobre las ideas de los alumnos, además de proporcionar materiales muy útiles para el trabajo con los alumnos sobre conceptos específicos, que desde la teoría piagetiana resultaban bastante menos accesibles.

Hemos pasado así del modelo piagetiano, en el que el alumno era uno y debía adquirir capacidades generales para la construcción del co-

nocimiento científico, a un modelo centrado en la adquisición de *muchos* conceptos específicos, cuya relación u organización interna se desconoce. Con este cambio de lo general a lo específico no sólo se ha cambiado el retrato del alumno, aunque se mantenga dentro del constructivismo, sino que se cambian también las prioridades y los criterios para la elaboración de los currículos de Ciencias de la Naturaleza. Hemos pasado de la guerra total a la guerra de guerrillas. Hemos de plantearnos por tanto qué tipo de ejército o currículo se debe organizar para afrontar esta nueva situación.

1.2.2 Implicaciones del enfoque de las concepciones alternativas para el currículo

Al igual que hicimos anteriormente con respecto a la teoría piagetiana de las operaciones formales, extraeremos a continuación algunos de los supuestos esenciales del enfoque de las concepciones alternativas con respecto a la comprensión de la ciencia por los adolescentes. Retomaremos para ello los cuatro puntos analizados con respecto a la posición piagetiana, observando cómo, a pesar de compartir una concepción constructivista, el nuevo enfoque supone un cambio radical en dichos supuestos:

- a) Frente a la existencia de formas cualitativamente distintas de pensar, correspondientes a distintos estadios, se rechaza la noción de estadio y, con ello la existencia de las operaciones formales como una definición general del pensamiento científico. Esta es, según Gilbert y Swift (1985), la principal diferencia entre ambos enfoques. Las diferencias entre niños y adolescentes se explicarían como consecuencia de la acumulación de nuevos conocimientos y la aparición de nuevas estructuras conceptuales en dominios específicos. En palabras de Brown y DeLoache (1978) los niños no serían sino "novatos universales". Susan Carey (1985a, 1985b, 1988) intenta mostrar cómo la supuesta transición de un estadio a otro puede ser explicada en términos de reestructuración de conocimientos en el paso de novato a experto. De hecho, como señalábamos unas páginas más arriba, las diferencias en la solución de tareas científicas entre los adolescentes y los universitarios no expertos en este área son menores de lo que la teoría piagetiana de los estadios prediría (Pozo y Carretero, en prensa).

- b) En relación con lo anterior, el pensamiento científico no sería, como Inhelder y Piaget (1955) suponían, una construcción espontánea y casi universal de los alumnos, sino que, en el caso de lograrse, sería un costoso producto de la instrucción en áreas de conocimiento específicas (Driver, 1981). Lo que los alumnos construirían de modo más o espontáneo serían precisamente las concepciones alternativas que tan difíciles resultan de modificar por la instrucción científica.
- c) Además, el pensamiento científico no sería un sistema de conjunto o una estructura homogénea, sino que más bien cabría hablar de conocimientos y habilidades específicas, adquiridas por separado o al menos no de un modo solidario como Inhelder y Piaget (1955) sostenían. Se abandona así la creencia en una inteligencia o capacidad general y se sustituye por un modelo de habilidades específicas o "modulares" (Case, en prensa; Sternberg, 1985).
- d) En conexión con lo anterior, y haciendo honor a su propio nombre, el enfoque de las concepciones alternativas centra sus investigaciones en la comprensión de conceptos científicos, situándose más allá de los procesos (Millar y Driver, 1987; Wellington, 1989). Los procedimientos necesarios para investigar ciencia no serían unívocos ni constituirían un sistema único y general de solucionar problemas (Gil, 1983) y en último extremo las habilidades metódicas recogidas bajo el paraguas del pensamiento formal serían una condición necesaria pero no suficiente para resolver tareas científicas, ya que se requerirían además conocimientos específicos sobre el área (Carretero, 1985a; Linn, 1986; Pozo, 1987a).

Estos cambios en el modelo psicológico del alumno implican a su vez consecuencias definidas para la organización y estructuración del currículo. Si de la arquitectura cognitiva cerrada y homogénea de Piaget daba pie a un determinado tipo de currículo que, aunque no masivamente, tuvo su aplicación en los años setenta, el enfoque de las concepciones alternativas puede tener consecuencias importantes en la forma de organizar los futuros currículos de Ciencias de la Naturaleza en nuestro país. Un análisis de algunas de esas consecuencias nos permitirá reflexionar luego críticamente sobre las mismas.

Ante todo, con respecto a la estructura y secuenciación de los contenidos en el currículo, el constructivismo derivado del enfoque de las concepciones alternativas impone criterios bastante distintos de los

que se deducían de la posición piagetiana. Si a partir de la obra de Piaget, el currículo se intentaba estructurar siguiendo las líneas y etapas del desarrollo cognitivo, estos criterios se desvanecen en el nuevo enfoque. Aunque se establece como principio básico que la enseñanza debe partir de las ideas y concepciones previas del alumno (de ahí el adjetivo "constructivista"), no se postula en principio la existencia de secuencias necesarias y fijas en la construcción de los conocimientos, como eran los estadios piagetianos. La psicología del alumno parece ser el punto de partida pero no el de llegada; éste —como criterio estructurador de los contenidos del currículo— viene dado más bien por los propios conceptos elaborados por las disciplinas académicas. En terminología ausubeliana, se trata de acercar la "estructura psicológica" que posee el alumno a la "estructura lógica" de la disciplina (Ausubel, 1973). La estructura del currículo vendrá determinada esencialmente por la *estructura conceptual de las disciplinas*, si bien ello no implica que el currículo deba reflejar fielmente la estructura académica de las disciplinas, ya que debe adecuarse siempre a la psicología de los alumnos.

Esto conduce preferentemente a *enfoques disciplinares más que integradores*. Dado que cada ciencia posee una estructura conceptual propia y no siempre coincidente la de otras materias, la forma más razonable de organizar la enseñanza científica será estructurarla a partir de las disciplinas que la componen. De hecho, el enfoque de las concepciones alternativas ha traído consigo un notable interés por la Epistemología y la Historia de las disciplinas específicas, que potencialmente son una fuente muy rica de criterios para la organización de los contenidos (por ej., Gagliardi y Giordan, 1986; Giordan *et al.*, 1987; Strauss, 1988). Este uso de la Historia de la Ciencia como heurístico útil para la organización de contenidos curriculares supone, de forma paradójica e irónica, una recuperación del más viejo y querido proyecto piagetiano, la elaboración de una Epistemología Genética. De hecho, buena parte de las reflexiones y análisis realizados en los últimos años con respecto a los paralelismos entre concepciones alternativas e Historia de la Ciencia estaban ya formulados —junto con otros aún no "redescubiertos"— en una de las obras póstumas de Piaget (Piaget y García, 1983).

La debilidad y escasa consistencia de los criterios psicológicos utilizados desde el enfoque de las concepciones alternativas lleva por tanto a que los criterios de estructuración curricular vuelvan en gran medi-

da, aunque no exclusivamente, a las disciplinas específicas, sin que ello tenga que suponer una renuncia a los presupuestos constructivistas del enfoque. Además, están centrados más en los conceptos de la disciplina que en sus procedimientos. Este enfoque, sin olvidar por ello la necesidad de fomentar el uso de procedimientos específicos, hace suya la afirmación de Ausubel, Novak y Hanesian (1978, pág. 466 de la trad. cast.) según la cual "*cualquier currículo de ciencias digno de tal nombre debe ocuparse de la presentación sistemática de un cuerpo de conocimientos como fin explícito en sí mismo*". Aunque posiblemente no todos los autores representativos de este enfoque suscribirían la conveniencia didáctica de presentar ese cuerpo de conocimientos, sí habría un acuerdo mayoritario en que deben constituir el núcleo del currículo. Se desplaza así el interés habido en los años setenta por los procesos como eje del currículo de ciencias (Wellington, 1989) aunque no se abandone la necesidad de instruir en su uso. De hecho el principal propósito de la enseñanza de la ciencia es ahora lograr el cambio conceptual en los alumnos (Carey, 1985a; Driver, 1986; Posner *et al.*, 1982; West y Pines, 1985), vinculado en algunos casos al logro del cambio metodológico (Gil, 1983; Gil y Carrascosa, 1985).

Además, este cambio en la prioridad entre procesos y conceptos, que es obvio simplemente con analizar el contenido de los trabajos publicados desde este enfoque, supone también cambios importantes desde el punto de vista didáctico. Si la enseñanza por descubrimiento es eficaz para el aprendizaje de procedimientos y estrategias de solución de problemas, no lo es tanto cuando se intenta aplicar a la adquisición de conceptos (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978). Según Driver (1981) ésta exigirá la presentación de los núcleos conceptuales de la ciencia al alumno, sin por ello incurrir en modos de aprendizaje memorístico. Esta separación entre estrategias de enseñanza y procesos de aprendizaje es un logro importante que parece esbozarse desde este enfoque. Millar y Driver (1987) señalan que en la investigación sobre enseñanza de la ciencia el término "proceso" ha hecho referencia de forma indistinta a los procesos de construcción de la ciencia, los procesos de enseñanza y los procesos de aprendizaje, cuando estos procesos no tienen por qué ser similares. Ni el alumno ha de aprender la ciencia necesariamente siguiendo los procesos mediante los que ésta se ha construido, ni la enseñanza debe basarse necesariamente en la investigación, ni la enseñanza expositiva es incompatible con un aprendizaje significativo. Aunque esta confusión —prototípicamente representada por la ambigua

fórmula de la "enseñanza activa" de la que tanto se hablaba unos años atrás— sigue latente en algunas propuestas (Pozo, 1990a), el enfoque constructivista de las concepciones alternativas, en la medida en que debe estructurar su currículo a partir de núcleos conceptuales difícilmente accesibles al alumno medio si no le son presentados mediante un recurso didáctico, puede favorecer su superación.

Existe, sin embargo, un cierto riesgo de minimizar la importancia de los procedimientos como resultado irrenunciable de la enseñanza de la ciencia. Para evaluar este riesgo es necesario analizar de modo crítico las nuevas aportaciones que ha traído consigo el enfoque de las concepciones alternativas con respecto a la posición piagetiana. Dado que este enfoque se ha impuesto con todo el vigor y la fuerza de una moda, es necesario preguntarse en qué consiste realmente la alternativa ofrecida por el enfoque de las concepciones alternativas.

1.2.3 El enfoque de las concepciones alternativas: ¿una concepción alternativa?

A pesar de su aceptación generalizada entre los investigadores e incluso, de modo creciente, entre los profesores, existen algunos rasgos, tanto empíricos como teóricos, de este enfoque, que merecen una reflexión crítica antes de utilizar las concepciones alternativas como modelo que ayude a estructurar el currículo de Ciencias de la Naturaleza. Resulta significativa la escasez de críticas que este enfoque ha recibido, tanto por sus detractores como por sus propios defensores, ya que ello no se debe tanto a la propia consistencia teórica y experimental del enfoque cuanto a una aceptación acrítica de muchos de sus presupuestos, que reduce la investigación a una acumulación de datos descriptivos sobre las concepciones alternativas de grupos determinados de alumnos en tareas determinadas, a partir de las cuales, sin apenas restricciones, se establecen generalizaciones susceptibles de afectar a la propia estructura del currículo. Merece por tanto la pena esforzarse en determinar las verdaderas aportaciones empíricas y teóricas realizadas por este enfoque y las cautelas con que deben ser aceptadas.

Sin duda lo que más ha favorecido la rápida aceptación del enfoque de las concepciones alternativas ha sido la abundancia de datos mostrando que en la más diversas áreas y tareas los alumnos disponen de ideas previas que utilizan para dar significado a los hechos. Este verdadero alud de datos requería una concepción constructivista del

conocimiento y un abandono de la idea asociacionista del aprendizaje que subyacía a ciertos modelos de enseñanza, como la pedagogía por objetivos (Pozo, 1987a). Dentro del constructivismo, a pesar de no ser siempre incompatibles con la teoría piagetiana de las operaciones formales, los datos parecen encajar muy bien con el que hemos dado en llamar enfoque de las concepciones alternativas, un edificio de consistencia desconocida, compuesto por numerosos apartamentos poco organizados entre sí, en el que siempre hay sitio para el recién llegado, frente al sólido pero muy cerrado edificio piagetiano, en el que resulta más difícil introducir nuevos inquilinos, ya que todo el espacio está adjudicado.

A pesar de la apabullante cantidad de datos acumulados en la última década, algunos autores han puesto en duda su relevancia o la interpretación que habitualmente se hace de los mismos. Con respecto a lo que podemos llamar críticas *metodológicas*, se pueden clasificar a partir de los dos criterios esenciales que debe reunir toda investigación: validez y fiabilidad.

Suele decirse que los datos recogidos en una investigación son válidos cuando "miden lo que dicen medir". Algunos autores (por ej., Goldberg y McDermott, 1983; McClelland, 1984) han puesto en duda que algunas o muchas de las situaciones experimentales en que se dice estar estudiando las concepciones alternativas de los alumnos midan realmente las ideas previas de los alumnos y no otra serie de factores contextuales o situacionales de menor relevancia para la enseñanza de la ciencia (falta de atención, tareas engañosas o paradójicas, respuestas sugeridas, etc.). La propia Rosalind Driver (1988) ha advertido contra la tendencia excesiva a creer que toda respuesta dada por los alumnos en una situación de este tipo refleja verdaderamente una concepción alternativa.

Lo cierto es que más allá de ciertas cautelas y criterios que están comenzando a desarrollarse (por ej., Giordan y de Vecchi, 1987) ha habido una tendencia a aceptar como válido cualquier dato, sin exigir ningún rigor metodológico. Como señalan Engel Clough y Driver (1986) el desprecio de este enfoque con respecto a las variables contextuales sólo es comparable al del propio Piaget. La diferencia es que Piaget renunciaba a estudiar estas variables por consideraciones teóricas —le interesaba el sujeto "epistémico", no el alumno real— mientras que a este enfoque esas mismas consideraciones deberían llevarle a analizar con mayor cautela todos los factores contextuales que afectan al rendimien-

to de los alumnos en una tarea determinada, y con ellos a manipular y controlar las variables del sujeto y de la tarea que pueden afectar a ese rendimiento.

La creencia firmemente asentada en la estabilidad y "validez" de las concepciones alternativas se desvanece en cuanto se varían mínimamente las instrucciones de presentación de una tarea. Yates *et al.* (1988) han comprobado que en un área tan estudiada como la mecánica newtoniana la simple modificación del enunciado de un ítem puede variar los resultados obtenidos. Un más riguroso y controlado análisis de las variables que afectan a las respuestas de los alumnos conduciría a este enfoque a una investigación que permitiera elaboraciones teóricas que fueran más allá de lo simplemente descriptivo. La aceptación acrítica de ciertos modelos de representación conceptual, que como veremos más adelante no son compartidos por la psicología cognitiva actual, podrá superarse en la medida en que el método descriptivo sea progresivamente reemplazado por estudios experimentales en los que se controlen ciertas variables, tanto de la tarea como del alumno, teóricamente relevantes y por tanto informativas para la teoría. Enfrentado a una tarea, el alumno pone en marcha una serie de procesos psicológicos que interactúan en su rendimiento y que no siempre reflejan concepciones estables y duraderas, sino que muchas veces son el producto de la interacción de las condiciones de la tarea y del propio alumno que inciden en la activación de unos u otros procesos.

En cualquier caso, aunque no siempre estudien lo que creen estar estudiando las investigaciones descriptivas realizadas hasta la fecha tienen una gran relevancia para la enseñanza en este área. Sin embargo, estos propios estudios descriptivos, aun asumiendo su validez, son en muchos casos criticables por su escasa fiabilidad, es decir resultan difícilmente replicables. La metodología utilizada en estas investigaciones, tanto desde el punto de vista del muestreo y de las condiciones de aplicación, como de los criterios de análisis de respuestas y el tratamiento estadístico que reciben, no es siempre fiable.

La selección de las muestras suele estar bastante alejada de los criterios de aleatoriedad exigibles en la investigación en ciencias sociales. Tampoco es habitual que se diferencie a los sujetos en función de ciertas variables potencialmente moduladoras. Aunque puede esperarse razonablemente que los resultados obtenidos con uno o unos pocos grupos de alumnos —muchas veces clases enteras compuestas de alumnos del profesor/investigador— sean representativos del total de la población de

adolescentes, serían precisas mayores cautelas en cuanto al control de la edad, nivel de conocimientos previos (en muchos casos no se especifica la instrucción previa recibida sobre el tema concreto y la forma en que ésta fue desarrollada) y otras variables individuales cuyo control no sólo incrementaría la fiabilidad de estos estudios sino también su interés teórico. Se trataría de identificar las variables que diferencian a unos alumnos de otros en lugar de establecer, como hasta ahora, un retrato ideal del alumno.

Más dañina para la fiabilidad de estos estudios resulta la escasez de análisis estadísticos realizados y, en algunos casos, la poca claridad de los criterios o niveles de respuesta utilizados. La mayor parte de los estudios se limitan a presentar porcentajes, sin aderezarlos siquiera con un análisis estadístico con respecto a las diferencias halladas. De hecho, no todas las concepciones alternativas surgen con la misma fuerza o si se quiere con la misma fiabilidad. Sería preciso extremar el rigor en este aspecto, ya que sólo así podremos atribuir significado a las diferencias observadas. Lamentablemente es menor aún el número de trabajos que intentan establecer relaciones entre variables. A pesar de sus limitaciones, el análisis correlacional puede proporcionar información sobre el grado de consistencia y homogeneidad de las diversas concepciones utilizadas por los alumnos y, con ello, ofrecernos datos sobre uno de los aspectos esenciales en la comprensión de la ciencia: la organización que adoptan las ideas científicas en la mente de los alumnos.

En definitiva, hay varias objeciones metodológicas que, sin menoscabar la relevancia de los datos obtenidos sobre las concepciones alternativas de los alumnos, deben de tenerse en cuenta antes de atribuirles un significado teórico. Aunque los datos, recogidos en países con alumnos y contextos educativos distintos, son tan generosos como indiscutibles, su interpretación ya es más discutible en la medida en que, si asumimos nuestra propia epistemología constructivista, depende del marco teórico asumido por cada cual. Desde el punto de vista de la teoría cabe también hacer algunas reflexiones críticas con respecto al estatuto conceptual de las concepciones alternativas.

Como vimos unas páginas más atrás, el enfoque de las concepciones alternativas ha supuesto, por oposición al piagetiano, un énfasis mayor en los conocimientos específicos que en las estructuras cognitivas generales. Ello ha supuesto una cierta "desintegración" del alumno, que ha pasado de poseer un sistema cognitivo organizado y predecible a disponer de un número no determinado de concepciones poco conec-

tadas entre sí y por tanto difícilmente predecibles. Esta evolución, que como ya se ha señalado es paralela en algún sentido a la de la propia psicología cognitiva, supone que los modelos explicativos suelen estar centrados en las tareas más que en el sujeto (Rips, 1983; Rowe, 1985), lo que justifica la adopción de criterios disciplinares o específicos en la organización del currículo. De esta manera, como en otras áreas, más que una psicología cognitiva de la comprensión de la ciencia, disponemos de muchos modelos útiles para una o unas pocas tareas (por ej., las ideas de los alumnos sobre velocidad y aceleración) que no nos permiten prever sus concepciones en otras tareas (¿cuáles serán sus ideas con respecto al calor y la temperatura?).

Esta tendencia "modular" en los modelos propuestos para explicar cómo entienden la ciencia los alumnos está justificada en parte en los datos que ponen en duda la existencia de estadios o estructuras cognitivas homogéneas en el pensamiento de los alumnos, datos revisados con anterioridad (punto 1.1.4). Sin embargo, como vimos entonces, si el conocimiento científico de los alumnos no es tan homogéneo como Piaget suponía, tampoco resulta tan heterogéneo o dispar como el enfoque de las concepciones alternativas supone actualmente. Aunque no se han hallado correlaciones entre tareas que según Piaget debían estar altamente relacionadas, se han observado correlaciones estadísticamente significativas entre tareas formales que desde el punto de vista de las concepciones alternativas no serían predecibles (por ej., Demetriou, Efklides y Gustaffson, en prensa; Lawson, 1977; Shayer y Adey, 1981; entre nosotros, por ej., López Rupérez y Palacios, 1988). Los pocos trabajos que han intentado establecer correlaciones entre las concepciones alternativas de los alumnos en diversas tareas han observado que éstas no son completamente independientes, ya que tienen un nivel de coherencia variable, pero tampoco constituyen un sistema de conjunto único y general (por ej., Engel Clough y Driver, 1986; Jiménez Aleixandre, 1990; Pozo, 1987a). Los datos parecen reclamar niveles de generalidad u homogeneidad intermedios a los previstos por Piaget o las concepciones alternativas (Case, en prensa). Este será un punto sobre el que volveremos en el próximo apartado cuando nos propongamos conciliar ambos enfoques.

El problema de la falta de organización cognitiva del alumno no es algo exclusivo del enfoque de las concepciones alternativas sino que, de una u otra forma, aqueja a muchas de las corrientes actuales en psicología cognitiva, capaz, en la línea del desarrollo de sistemas expertos,

de diseñar modelos de solución de tareas muy predictivos en un contexto concreto pero ineficaces para otras situaciones (Pozo, 1989). Sin embargo, dada la poca investigación que se ha hecho sobre la influencia del contexto en la construcción y el uso de las concepciones alternativas (Engel Clough y Driver, 1986), tampoco este enfoque dispone de modelos de solución de tareas muy elaborados, por lo que ni siquiera resulta muy predictivo en tareas concretas.

Parte de esta carencia puede deberse a los problemas derivados de la representación del conocimiento científico. Aunque ha habido numerosos intentos de representar el conocimiento científico con diversas técnicas (por ej., Hewson y Posner, 1984; Langley *et al.*, 1987; Novak y Gowin, 1984; Preece, 1976, 1978; Reif y Heller, 1982) éstas suelen estar directa o indirectamente vinculadas con modelos de procesamiento de información, cuyas restricciones formales no suelen coincidir con la forma en que las personas se representan las mismas tareas (Linn, 1986). En cualquier caso, esos modelos representacionales pueden ser útiles para representar conocimientos científicos pero tal vez sean menos eficaces cuando se enfrentan a las "concepciones alternativas", un concepto que desde el punto de vista de la psicología cognitiva resulta ciertamente ambiguo.

De hecho, el enfoque de las concepciones alternativas se caracteriza por una aceptación acrítica de algunos de los postulados y conceptos de la moderna psicología cognitiva, importando de ella términos y conceptos (constructivismo, esquema, procesamiento de información, asimilación, etc) que la propia psicología cognitiva no ha conseguido aún aclarar suficientemente o con respecto a los cuáles existen posiciones encontradas o incompatibles. Esta importación acrítica, que es útil en la medida en que ayuda a comprender mejor a los alumnos, plantea a medio plazo problemas conceptuales en la investigación, ya que impiden profundizar más allá debido a la propia vaguedad de los conceptos empleados.

Desde el punto de vista de la psicología cognitiva actual, el propio concepto de concepción alternativa se hallaría muy próximo a muchos de sus constructos teóricos, pero sin que sea posible, dada su indefinición, hacerlo coincidir en ninguno de ellos, por lo que resulta muy difícil abordar, desde una perspectiva psicológica, la *representación* que tienen los sujetos de los fenómenos científicos, sus "concepciones alternativas". La naturaleza y el funcionamiento de las representaciones constituyen un problema crucial, no sólo desde un punto de vista psi-

cológico sino también didáctico. Sin embargo, con algunas excepciones (por ej., Giordan y de Vecchi, 1987), es una cuestión que apenas ha sido abordada y respondida desde este enfoque. Mientras que las concepciones alternativas se sitúan en el nivel de análisis del conocimiento intuitivo de las personas —es decir, lo que esas personas hacen o dicen con respecto a una situación concreta— el nivel representacional debería referirse más bien a las estructuras y procesos que subyacen a esas concepciones y que las hacen posibles. La distinción entre estos dos niveles, que es básica en psicología cognitiva (Rivière, 1987), no se establece al hablar de concepciones alternativas, por lo que ambos se confunden y se atribuyen en ocasiones propiedades del uno al otro. Al igual que los alumnos atribuyen propiedades observables o macroscópicas a la estructura no observable de la materia (en los capítulos 4, 5 y 6 de este trabajo pueden encontrarse numerosos ejemplos de estas ideas) la confusión entre la conducta observable y la representaciones que están en su origen puede conducir a atribuir a esas representaciones científicas del alumno propiedades de las que en realidad carecen.

Desde nuestro punto de vista —desarrollado con mayor detalle unas páginas más adelante, en el punto 2.4.— el concepto de “concepto” habitualmente usado en este enfoque sería más preciso si se incorporaran dos distinciones fundamentales establecidas por las modernas teorías de la representación y el aprendizaje cognitivo (por ej., Pozo, 1989; de Vega, 1984). En primer lugar, las concepciones alternativas se ajustan más a lo que hoy en día se conoce como una *categoría natural* —o concepto probabilístico de límites difusos— que a una categoría lógica, bien definida, como son los conceptos científicos. Esto implicaría que el cambio conceptual alentado por este tipo de modelos (por ej., Haswheh, 1986; Hewson y Hewson, 1984; Posner *et al.*, 1982) no supone sólo el cambio de un concepto por otro sino sobre todo el cambio de una forma de conceptualizar —la categoría natural— por otra —el concepto científico.

Además, las concepciones alternativas, lejos de ser conceptos estables y duraderos, presentes explícitamente en la memoria de los alumnos, serían representaciones *implícitas*, que en muchos casos el alumno construiría ad hoc o sobre la marcha para atender a las demandas de una tarea. Este carácter implícito —unido a una nueva forma de construcción personal diferente de la defendida por Kelly (1955) o Piaget— es uno de los rasgos más sobresalientes de los estudios actuales sobre las representaciones que usamos las personas y situaría en un lugar preferente los factores o variables contextuales que determinan la activación

de una u otra representación en un momento dado (por ej., Holland *et al.*, 1986; Rumelhart, McClelland y PDP, 1986). En otras palabras, no se trataría tanto de investigar qué concepción tienen los alumnos sobre un fenómeno determinado cuanto de analizar cuál de sus representaciones implícitas activarán ante una tarea y qué variables determinan esa activación. Desde esta perspectiva el cambio conceptual implicará no sólo facilitar la construcción de nuevas representaciones sino proporcionarles indicios para su activación selectiva, de forma que los alumnos no sólo tengan conocimientos científicos sino que además sepan usarlos en el momento adecuado.

Esta distinción –paralela a la diferenciación entre competencia y actuación en los estudios piagetianos (Carretero, 1985a)– está ausente en la investigación de las concepciones alternativas y sin embargo podría ayudar a comprender algunos de los “errores” que cometen los alumnos. Para ello, como señalan Engel Clough y Driver (1986) hay que profundizar en el uso que los alumnos hacen de sus concepciones y, lo que es más importante, adoptar una perspectiva teórica en el análisis de las concepciones de los alumnos que integre algunos de los aspectos señalados en las últimas páginas. El capítulo 2 de esta trabajo está dedicado a esbozar algunos de los rasgos que debería tener dicho enfoque teórico, que debería basarse en una integración de las dos posiciones que hasta ahora hemos expuesto por separado, el pensamiento formal piagetiano y las concepciones alternativas. Antes de intentar ese acercamiento integrador, es necesario destacar de un modo explícito, las divergencias esenciales entre estas dos formas diferentes de entender el constructivismo.

1.3 SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS ENTRE AMBOS ENFOQUES

Aunque en páginas anteriores hemos esbozado algunas de estas semejanzas y diferencias, es conveniente contraponer de modo explícito la concepción constructivista que subyace a cada uno de los dos enfoques, ya que, como comentábamos al inicio, muchas veces la vaga etiqueta del constructivismo encubre diferencias trascendentes para la enseñanza de la ciencia.

Dejando al margen otro tipo de comparaciones relativas a los procedimientos didácticos o los métodos de instrucción desarrollados a

partir de cada uno de los enfoques, centraremos nuestra exposición, de acuerdo con los objetivos de esta investigación, en la distinta concepción psicológica que del alumno de ciencias nos proporcionan la teoría piagetiana y en enfoque de las concepciones alternativas. Dado que en ambos casos se parte de una idea constructivista según la cual la comprensión de la ciencia alcanzada por los alumnos como consecuencia de la instrucción es, en gran medida, producto de las ideas o el conocimiento previo que los alumnos tienen sobre lo científico, estructuraremos esta comparación en torno a cuatro preguntas básicas que servirán de hilo conductor no sólo de este apartado sino también del próximo, dedicado a buscar una integración entre las dos tradiciones aquí comparadas. Esas cuatro preguntas serían las siguientes:

- a) ¿Por qué tienen los alumnos ideas previas sobre la ciencia que influyen en su aprendizaje?
- b) ¿Qué ideas tienen los alumnos y por qué tienen precisamente esas ideas?
- c) ¿Cómo se organizan esas ideas en la mente del alumno?
- d) ¿Cómo cambian esas ideas, o sea, cómo se aprende ciencia?

1.3.1 ¿Por qué tienen los alumnos ideas previas sobre la ciencia que influyen en su aprendizaje?

La respuesta a esta pregunta es común a ambas posiciones y viene determinada por su asunción del *constructivismo*, según el cual las personas conocemos el mundo no de un modo directo sino a través del filtro impuesto por nuestras ideas y expectativas. La idea constructivista —que podría enunciarse brevemente con la feliz frase de Koffka según la cual “*vemos las cosas no como son, sino como somos nosotros*”— supone que las ideas de los alumnos son una construcción o elaboración cognitiva desarrollada por ellos, que influye en el logro de nuevos aprendizajes. La importancia concedida a este tipo de ideas no es exclusiva de los estudios sobre enseñanza de la ciencia. de hecho, podríamos decir que el constructivismo —como epistemología o como teoría del conocimiento— está adquiriendo una importancia creciente, e incluso predominante, en muchas áreas de investigación psicológica y educativa.

Así, el enfoque más influyente dentro de la psicología científica actual, la llamada “psicología cognitiva”, a pesar de sus múltiples va-

riantes y alternativas, se caracteriza por asumir que la explicación de la conducta se halla en la representación que las personas tienen del mundo y no sólo en las características "reales" que éste tenga. Esto vale para el alumno aprendiendo ciencia —interactúa con los objetos y con la naturaleza de acuerdo con sus ideas y no según las verdaderas leyes que rigen el mundo natural— pero también para el profesor de ciencias interpretando la conducta de sus alumnos en clase —atribuye las ideas de sus alumnos a diversas fuentes, en función de sus ideas, y no a sus "verdaderas" causas, evalúa en función de sus expectativas con respecto a cada alumno concreto, etc—. De hecho, no sólo los alumnos construyen ideas para interpretar el mundo que les rodea, sino que también sus profesores lo hacen (por ej., Pope, 1988). Hoy se acepta incluso que la labor de los científicos está teñida por la influencia de sus propias ideas. Aunque la ciencia busque con denuedo la objetividad, las posiciones epistemológicas actuales subrayan la importancia de las teorías científicas frente a la simple experimentación. Desde los *paradigmas* de Kuhn (1977) a los *programas de investigación* de Lakatos (1978) la influencia de las teorías ha ido imponiéndose sobre la función atribuida a los datos. No hay observación pura, la percepción está cargada conceptualmente y no son los datos los que cambian las teorías científicas sino la aparición de otras teorías mejores (Lakatos, 1978).

Por consiguiente, la moderna aceptación del constructivismo por los defensores del enfoque de las concepciones alternativas —que a veces se presenta como un descubrimiento reciente— es fruto más bien de una *tradicón con profundas raíces históricas*, tanto desde un punto de vista científico como social. La adopción de un punto de vista constructivista con respecto a las ideas de los alumnos o a la conducta de las personas que nos rodean requiere ciertas dosis de tolerancia o al menos de renuncia a posiciones dogmáticas, que hacen de esta filosofía un producto del *zeitgeist* o espíritu de la época actual. Además, las posiciones cognitivas —basadas en la existencia de representaciones con eficacia causal sobre la conducta— son predominantes no sólo en la psicología evolutiva piagetiana y pospiagetiana (por ej., Flavell, 1985), sino también en la psicología de la memoria (Baddeley, 1982; de Vega, 1984), del pensamiento y la solución de problemas (Carretero y García Madruga, 1984), del aprendizaje (Pozo, 1989) e incluso en áreas más alejadas de la enseñanza de la ciencia como la psicología social (Moscovici, 1984), los estudios sobre la personalidad (Kelly, 1955; Fransella, 1981) o la psicoterapia (Mahoney y Freeman, 1985).

Este influencia creciente de las posiciones constructivistas en la psicología actual no debe ocultar las diferencias existentes entre diversos autores y enfoques. Dentro del área del aprendizaje existen notables diferencias entre unas teorías y otras, aunque todas ellas asuman los supuestos constructivistas (Pozo, 1989). En el caso de los dos enfoques aquí comparados, parten de dos maneras distintas, aunque en gran medida coincidentes, de entender la construcción del conocimiento. Mientras que Piaget sitúa al alumno que aprende ciencia dentro de su "epistemología genética", el enfoque de las concepciones alternativas suele admitir como propia la teoría de los constructos personales de George A. Kelly (1955), nacida originalmente como una teoría de la personalidad con aplicaciones a la psicoterapia. El constructivismo piagetiano tiene como objeto directo explicar la construcción del conocimiento científico; en cambio, Kelly se proponía explicar la construcción de conocimientos personales sobre nosotros mismos y los demás.

A pesar de su distinto origen y propósitos, Piaget y Kelly tienen abundantes puntos en común (Mancuso y Adams-Webber, 1982; Pope, 1988). El más importante de ellos es sin duda que ambos parten de la idea de que la persona, al comprender el mundo, actúa de forma similar a un científico construyendo modelos y teorías. La metáfora de "la persona-como-científico" de Kelly (1955) coincide con la idea piagetiana del adolescente y el adulto como pensadores formales, desarrollada en su libro publicado aquel mismo año (Inhelder y Piaget, 1955). Existen otras similitudes entre ambas teorías —como la idea que las ideas se hallan subordinadas a sistemas de organización cognitiva más amplios— pero son también notables las diferencias. Como consecuencia de sus propios orígenes y propósitos, Piaget está interesado en el sujeto "epistémico", despreciando los factores individuales, contextuales y sociales que puedan difuminar su retrato, mientras que Kelly está interesado más bien por las construcciones de una persona concreta en un momento concreto y en una sociedad concreta. Los mecanismos de cambio de las ideas son también diferentes en una y otra teoría (ver más adelante punto 1.3.4.).

En todo caso, la diferencia crucial reside en nuestra opinión en que la teoría piagetiana se ocupa directamente de la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos, mientras que la de Kelly tiene un origen bien diverso, por lo que ha sido necesario reconvertirla en una teoría sobre la construcción de concepciones alternativas. En este proceso de traducción, pensamos que la teoría de Kelly ha quedado bastante di-

fuminada y, en último extremo, empobrecida. Kelly (1955) resumía su teoría en un postulado fundamental y once corolarios derivados. En su adopción por el enfoque de las concepciones alternativas, se ha quedado reducida al postulado básico —los procesos de una persona están psicológicamente canalizados por la forma en que esa persona anticipa los hechos— perdiéndose por el camino los once corolarios, que restringían su significado. Así, el enfoque de las concepciones alternativas carece de una teoría constructivista propia, limitándose a una serie de principios vagos (Driver, 1986; Hierrezuelo y Montero, 1988). Como el propio Kelly sostenía, los constructos y teorías se miden por su capacidad de anticipar o predecir hechos, y esta debilidad teórica de las concepciones alternativas se manifiesta sobre todo en sus dificultades para predecir y/o explicar las ideas de los alumnos, frente a la seguridad —muchas veces excesiva— de las predicciones piagetianas.

1.3.2 ¿Qué ideas tienen los alumnos y por qué tienen precisamente esas ideas?

Hoy en día conocemos con bastante detalle las ideas que tienen los alumnos en muy diversas áreas del conocimiento científico. Además de la aportación inicial de Piaget (1927, 1973; Piaget y García, 1983), una década de estudios sobre las concepciones alternativas de los alumnos nos ha proporcionado una abundante bibliografía, especialmente numerosa en Física y menor grado en Química, Biología y Geología. Han sido estudiadas con bastante detalle —aunque con las limitaciones metodológicas apuntadas en su momento— las ideas de los alumnos sobre fuerza, movimiento y gravedad (por ej., Driver, 1986; Gunstone y Watts, 1985; Pozo, 1987c), calor y temperatura (Strauss y Stavy, 1983; Wiser, 1988), electricidad (Manrique, Varela y Favieres, 1989; Shipstone, 1985), selección natural (Jiménez Aleixandre, 1989), naturaleza atómica de la materia (véase la Segunda Parte de esta Memoria) y otras muchas áreas. Sin embargo, estos estudios que, por su carácter descriptivo, proporcionan un conocimiento detallado de las ideas que tienen los alumnos, son escasamente prescriptivos o predictivos con respecto a las ideas que tendrá un alumno concreto en una situación concreta. Igualmente, son escasamente explicativos con respecto a las causas de la aparición de esas ideas. Driver, Guesne y Tiberghien (1985), posiblemente en el análisis más influyente realizado desde esta perspectiva, identifican cinco características generales de las ideas de

los alumnos que pueden entenderse como posibles causas de su aparición. Estas ideas serían:

- a) El pensamiento de los alumnos está dominado por la percepción.
- b) El pensamiento de los alumnos limita su atención a unos pocos aspectos de la situación, generalmente los más aparentes.
- c) Los alumnos utilizan un razonamiento causal lineal.
- d) Los alumnos poseen conceptos indiferenciados.
- e) El pensamiento de los alumnos depende del contexto en que se active.

A estos factores, relacionados con los procesos de pensamiento de los alumnos, otros autores añaden la influencia del lenguaje (Llorens y de Jaime, 1987) o del contexto social (Solomon, 1987). Sin embargo, aun cuando la relevancia de todos los factores mencionados está fuera de duda, hasta la fecha no se ha articulado una teoría coherente que los englobe. Esta falta de una teoría integradora es en nuestra opinión la más grave limitación que aqueja en la actualidad al enfoque de las concepciones alternativas, ya que le impide predecir o explicar los abundantes y sugestivos datos que encuentra, restringiendo notablemente sus posibilidades de actuar sobre ellos. Tal vez esta debilidad teórica se deba a que los principios establecidos por Driver, Guesne y Tiberghien (1985) sitúan las causas de la aparición de estas ideas en el funcionamiento cognitivo de los alumnos. Sin embargo, aunque en los últimos años hayan avanzado mucho los estudios sobre procesos cognitivos tales como percepción, atención, conceptualización, pensamiento o razonamiento causal, lo han hecho en un contexto teórico y experimental muy alejado al de los estudios sobre aprendizaje y enseñanza de la ciencia que estamos comentando. De hecho, ni siquiera los trabajos sobre la comprensión de la ciencia hechos desde la psicología o la ciencia cognitiva (por ej., Carey, 1985a; Chi, Glaser y Rees, 1982; Gentner y Stevens, 1983; Langley et al., 1987) suelen tener influencia en las investigaciones sobre concepciones alternativas, ya que sus planteamientos teóricos e incluso metodológicos difieren notablemente de los defendidos en esas investigaciones.

Frente al gran cúmulo de datos sugerentes y relevantes, pero escasamente organizados, que nos han proporcionado los más recientes estudios sobre concepciones alternativas de los alumnos, la teoría de

las operaciones formales de Piaget aporta casi lo contrario: una gran potencia predictiva...pero sin datos suficientes que la avalen. El gran atractivo de la teoría de Piaget es sin duda la imagen que nos proporciona del alumno con una mente bastante homogénea y por tanto predecible. La teoría de Piaget predice notables —y a veces sorprendentes— regularidades en la actuación de los alumnos en tareas diversas. Aunque estas predicciones no siempre se cumplen, dando lugar al conocido problema de los *decálages* o desfases y con él a la crisis de la noción de estadio (a la que nos hemos referido ya en el apartado 1.1.), es bien cierto que Piaget ha legado a la psicología evolutiva y educativa un buen número de “regularidades” en la conducta de los alumnos que cualquier teoría debe explicar (Case, 1981; en prensa; Flavell, 1982). Es fácil describir —e incluso explicar— la actuación de los alumnos en tareas aisladas, pero más difícil explicar lo que tienen en común tareas aparentemente dispares, como las diversas conservaciones piagetianas o los problemas de combinatoria y razonamiento proporcional.

La aparición de las teorías neopiagetianas es de hecho un intento de explicar esas regularidades recurriendo a ciertos rasgos estructurales o funcionales —como el crecimiento de la memoria a corto plazo de los alumnos— que permitirían predecir su actuación en diversas tareas a partir de un análisis de la demanda cognitiva de las mismas (para una relación entre estas teorías y la comprensión de la ciencia por los alumnos véase el punto 7.1.2. de este libro). Otra forma de explicar las regularidades en la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos es recurrir a estructuras conceptuales de un nivel de generalidad intermedio a las estructuras lógicas piagetianas y a las dispersas concepciones alternativas. Los intentos de Carey (1985a), o más recientemente de Case (en prensa), así como la referencia a teorías implícitas de los alumnos (por ej., Arnay, 1988; Pozo, 1987a; Rodrigo, 1985) son intentos de este tipo. En cualquiera de los casos, remiten la explicación de las ideas de los alumnos en buena medida al problema de la organización de las mismas, otra de las preguntas básicas que separa a la posición piagetiana del enfoque de las concepciones alternativas.

1.3.3 ¿Cómo se organizan esas ideas en la mente de los alumnos?

En páginas anteriores ya nos referimos a esta diferencia esencial entre los dos enfoques que estamos analizando, que como hemos vis-

to afecta a su capacidad predictiva y explicativa. La teoría de Piaget supone una mente altamente organizada, estructurada de un modo homogéneo de acuerdo a ciertas capacidades lógicas subyacentes, por lo que ha sido rechazada por los estudiosos de las concepciones alternativas, al encontrar que éstas no son tan consistentes y estructuradas como Piaget suponía (Driver, 1983; Gilbert y Swift, 1985).

Este problema no es nuevo ni específico de la comprensión de la ciencia. Ya Flavell (1963, págs 460-461 de la trad. cast.), en su célebre compendio de la extensa obra de Piaget apuntaba que "*una imagen precisa de la vida intelectual...probablemente revelaría un orden de organización algo inferior, un conglomerado de operaciones no tan estrechamente integrado*". Lo cierto es que, como el propio Flavell (1982) apuntaba veinte años más tarde a la luz de los datos acumulados hasta entonces, la mente del niño no parece ser tan homogénea como Piaget predecía pero tampoco tan heterogénea como para estar constituida por un número no determinado de concepciones dispersas. Frente al duro cemento de las operaciones lógicas y los estadios piagetianos, las concepciones de los alumnos son hoy ideas aisladas, inconexas, cuyo único nexo de unión -y de referencia teórica- son las disciplinas científicas con respecto a las cuales son "alternativas". Si de constructivismo y de construir estamos tratando, es difícil construir un modelo de la mente del alumno con tantos ladrillos y tan poco cemento.

Este paso de una estructura cognitiva general a un número no determinado de conocimientos específicos aqueja hoy en día a buena parte de la psicología cognitiva y más específicamente de la psicología del pensamiento (Carretero y García Madruga, 1984; Pérez Echeverría, 1989; Pozo, 1987a). La transición de modelos "sintácticos" -basados en reglas de transformación generales, como las operaciones lógicas- a modelos "semánticos" -consistentes en conocimientos específicos para áreas concretas- no ha solucionado los problemas endémicos que aquejan a la psicología del pensamiento (Pérez Echeverría, 1989a). Los modelos semánticos específicos -en los que, por sus características, podrían incluirse las concepciones alternativas- explican muchas veces las desviaciones de las reglas formales, pero dejan de explicar su propia regularidad e incluso los casos en que los sujetos no se desvían de los modelos sintácticos o formalmente correctos.

De hecho, una de las denominaciones habituales de las concepciones alternativas es la de *misconceptions* o concepciones erróneas, dando por supuesto que todas las ideas de los alumnos dignas de ser estudia-

das son científicamente correctas. Apenas existen trabajos que estudien cómo ciertas concepciones construidas por los alumnos son “correctas” y si queremos encontrarlos probablemente los mejores ejemplos estén en la obra de Piaget. Conceptos tales como la permanencia del objeto (Piaget, 1936), la conservación del número (Piaget y Szeminska, 1941) o del tiempo (Piaget, 1946) son construcciones personales de los alumnos tan relevantes como sus ideas “alternativas” sobre el movimiento, la fuerza o la caída de los graves. Una verdadera teoría sobre la comprensión de la ciencia por los alumnos será aquella que explique *con unos mismos principios* las ideas desviadas y las no desviadas. El logro de esta teoría no sólo es importante para la construcción de modelos explicativos de la conducta del alumno sino muy especialmente para favorecer su aprendizaje de la ciencia. Si la idea básica del constructivismo —resumida en la frase de Ausubel con la que abríamos este trabajo— es que el alumno aprende a partir de sus conocimientos previos, es imprescindible conocer cómo están organizados y representados esos conocimientos, en qué consisten, antes de aventurarse —como vamos a hacer nosotros ahora— a responder a la pregunta de cómo cambiar esos conocimientos.

1.3.4 ¿Cómo cambian esas ideas, o sea, cómo se aprende ciencia?

Unas páginas más atrás aludíamos al carácter constructivista común no sólo a los dos enfoques que estamos comentando sino también a buena parte de la psicología cognitiva, la epistemología y la investigación educativa contemporánea. Sin embargo, al hablar de constructivismo, es preciso hacer una distinción entre dos sentidos o acepciones distintas del término (Pozo, 1989). En el sentido recogido por la frase de Koffka que citábamos unas páginas atrás —“vemos las cosas no como son, sino como somos nosotros”— nos estamos refiriendo a un tipo de constructivismo estático según el cual la percepción o comprensión que una persona tiene de un hecho dado —sea éste la disolución de un terrón de azúcar en agua, la caída de una bola por un plano inclinado, la caída del Muro de Berlín o el escaso rendimiento de un alumno— depende decisivamente de las ideas o constructos que esa persona tenga en el dominio correspondiente. Todas las teorías cognitivas, epistemológicas y educativas antes mencionadas son constructivistas en este sentido estático. Pero no todas ellas lo son por igual en un segundo sentido que

podemos llamar *dinámico*: no sólo construimos, aquí y ahora, el mundo en el que vivimos a partir de nuestras ideas, concepciones o estructuras cognitivas. También construimos esas ideas, concepciones y estructuras, que, como consecuencia de ello, estarán en continuo cambio.

Este carácter dinámico de nuestros conocimientos, a diferencia del sentido estático de los mismos, no puede ser recogido con la misma facilidad por todas las teorías antes mencionadas. De hecho, una de las características de las modernas teorías cognitivas, hasta tiempos muy recientes, ha sido carecer de una verdadera teoría del aprendizaje (Pascual-Leone, 1980; Rivière, 1987; Siegler y Klahr, 1982). La psicología cognitiva, centrada en el estudio de las representaciones y apegada a la metáfora del computador, es capaz de modelar con gran eficacia la forma en que las personas se representan —o construyen— situaciones concretas a partir de sus ideas o esquemas, pero se muestra muy limitada para explicar cómo las personas adquieren esas mismas representaciones (Pozo, 1989).

En cambio, tanto el enfoque de las concepciones alternativas como la teoría piagetiana parten de un constructivismo tanto estático como dinámico. La epistemología genética de Piaget, en la medida en que se constituye en una teoría del desarrollo cognitivo, precisa de mecanismos para explicar el cambio cognitivo. A su vez, el enfoque de las concepciones alternativas, preocupado en mejorar la enseñanza de la ciencia, se ha visto obligado a profundizar en los mecanismos mediante los que cambian las ideas de los alumnos, es decir, los mecanismos mediante los que aprenden ciencia los alumnos. Ante la ya comentada ausencia de teorías cognitivas del aprendizaje hasta tiempos muy recientes (Pozo, 1989), es significativo que los modelos de aprendizaje basados en las concepciones alternativas hayan tenido un origen más epistemológico que psicológico. Dado que este enfoque parte de la idea de que el aprendizaje de la ciencia es ante todo un proceso de *cambio conceptual*, por el que las concepciones alternativas se transforman en ideas científicamente aceptadas, el modelo que se ha tomado para esta evolución es la propia epistemología, que analiza los cambios conceptuales habidos en la Historia de la Ciencia. Ya sea a partir de las ideas de Toulmin (1972; véase Ausubel, Novak y Hanesian, 1978; Novak, 1977), de Kuhn (1977; véase Posner et al., 1982) o de Lakatos (1978; véase Linn, 1986; Pozo, 1987a), los modelos de cambio conceptual en la enseñanza de la ciencia suelen asumir la necesidad de activar las concepciones de los alumnos para someterlas a conflicto y posteriormente, según los au-

tores, sustituirlas o transformarlas en ideas científicamente aceptadas. Aunque estos modelos han dado lugar a diversas propuestas de metodología didáctica (véase tabla 1.1.), todas ellas comparten unas ideas comunes (Cosgrove y Osborne, 1985), basadas en los tres puntos antes citados: activación de ideas de los alumnos, creación de un conflicto y superación del mismo mediante el acceso a una idea más avanzada.

Sin embargo, la idea de cambio conceptual que subyace a muchos de estos modelos parece ser demasiado simple. El papel del conflicto cognitivo no está tan claro como estos modelos suponen (por ej., Cantor, 1983; Zimmerman y Bloom, 1983), ya que en el mejor de los casos parece ser una condición necesaria pero no suficiente para el cambio cognitivo (Pozo, 1987a). Tampoco la similitud entre el cambio conceptual en los alumnos y en la Historia de la Ciencia es obvia, sino que está sujeta a controversias. Carey (1985a, 1988) se ha preguntado repetidamente hasta qué punto los cambios producidos en el desarrollo cognitivo y en el aprendizaje de la ciencia son comparables a los habidos en la Historia de la Ciencia. Desde su punto de vista, podría hablarse de dos tipos de *reestructuración* distintos, que implican dos modelos de cambio conceptual bien diferentes. La *reestructuración débil* sería característica del paso de novato a experto y consistiría en la construcción de una nueva organización conceptual de un dominio, por la que aparecen nuevos conceptos más generales que engloban a los conceptos específicos, apegados a lo inmediato, que posee el novato. Este tipo de reestructuración ha sido observada en los estudios con expertos y novatos en mecánica newtoniana (por ej., Chi, Glaser y Rees, 1982; Pozo y Carretero, en prensa) y, desde el punto de vista del aprendizaje, se basaría en procesos de generalización y discriminación conceptual. El segundo tipo de reestructuración, *fuerte*, supone cambios más profundos que afectan al dominio de fenómenos explicado, la naturaleza de las explicaciones aceptadas por la teoría y los conceptos que constituyen el núcleo central de la teoría (Carey, 1985a). El paso de la mecánica medieval a la newtoniana o el de la psicología humanista a la psicología científica cumplen con estas características (Pozo, 1987a).

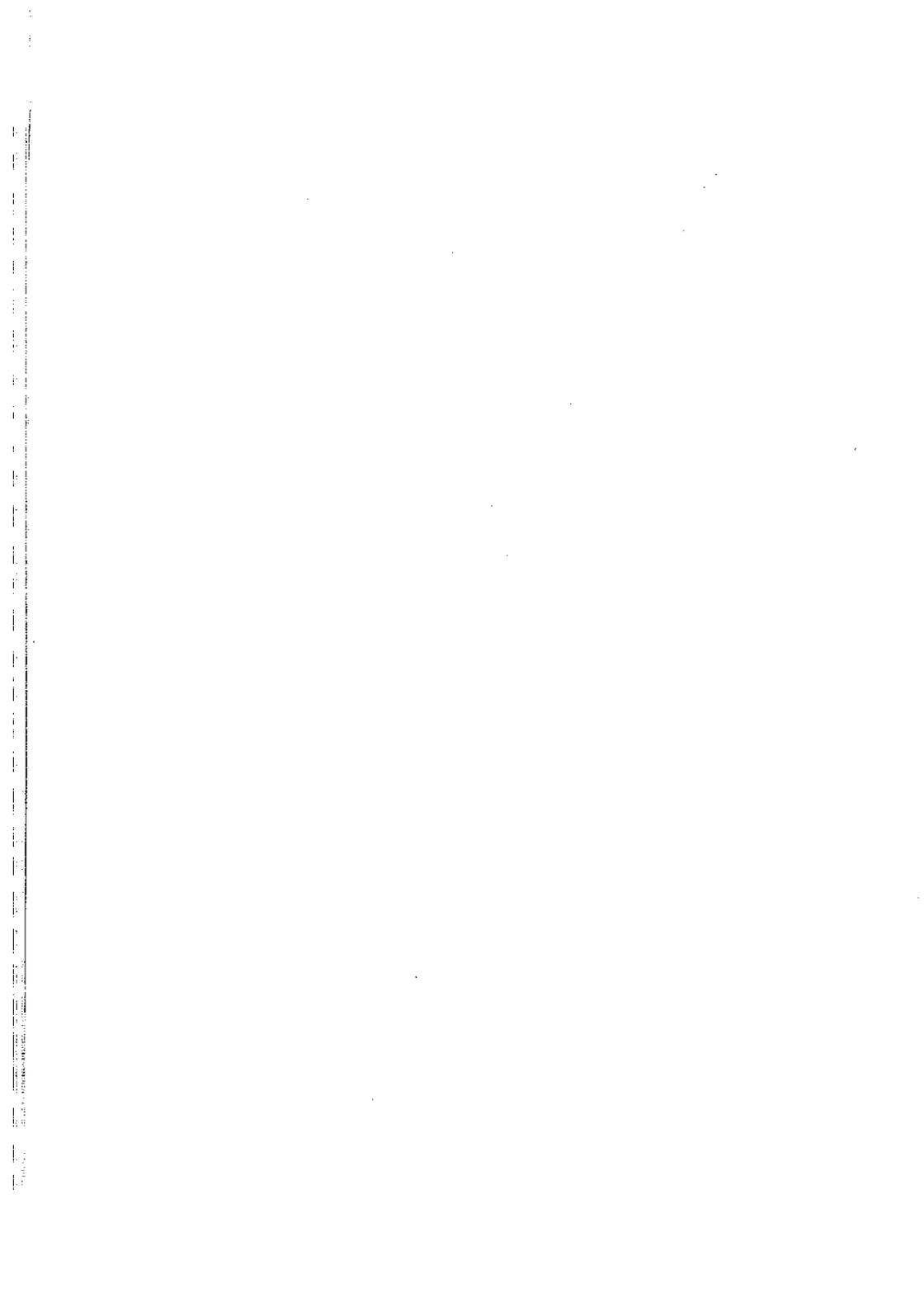
Aunque los interrogantes abiertos por Carey siguen aún en el aire —¿implica el cambio conceptual basado en las concepciones alternativas una reestructuración débil o fuerte?— lo cierto es que el concepto de aprendizaje por reestructuración introduce una complejidad mayor a la idea del cambio conceptual. Frente a una idea un tanto lineal y mecánica según la cual el cambio conceptual es el cambio de una concepción

por otra más aceptada científicamente —el cambio de un “preconcepto” por un verdadero concepto— la idea de reestructuración introduce dos componentes adicionales desde el punto de vista del aprendizaje. En primer lugar, la reestructuración implica un cambio gradual en el que no puede excluirse la importancia de otros tipos de aprendizaje asociativo y en el que el conflicto cognitivo no es el único, ni a veces el principal, motor del aprendizaje (Pozo, 1989). En segundo lugar, la idea de reestructuración implica que no se trata de cambiar un concepto por otro sino una estructura por otra. En este sentido la propuesta de Carey (1985a, 1988) se halla en una posición intermedia entre el enfoque de las concepciones alternativas, que acabamos de analizar, y la teoría piagetiana, a la que nos referiremos a continuación. Si las concepciones alternativas se abandona mediante un cambio conceptual, la teoría evolutiva de Piaget propone un cambio *estructural*. Frente a la guerra de guerrillas que supone cambiar un concepto por otro, Piaget desencadena una Guerra Mundial, en la que toda la organización cognitiva del alumno debe cambiar. La idea de la reestructuración mantenida por diversos autores (Carey, 1985a, 1988; Cheng, 1985; Pozo, 1987a, 1989; Vosniadou y Brewer, 1988) se halla a medio camino de ambas posiciones, ya que se basa en la idea de que para aprender ciencia hay que cambiar las estructuras conceptuales; no bastan los cambios conceptuales puntuales, pero tampoco se trata de una reestructuración cognitiva global *à la Piaget*, sino restringida a dominios de conocimiento concretos.

En cualquier caso, la diferencia entre el cambio conceptual promovido desde las concepciones alternativas y el cambio estructural defendido por Piaget, y su posible compatibilidad en un punto intermedio (véase punto 2.5.), no debe ocultar la semejanza básica entre algunos de los procesos de cambio cognitivo postulados desde ambas posiciones. Desgraciadamente, la referencia que suele hacerse a Piaget por los partidarios de este enfoque no suele basarse en las últimas elaboraciones de la teoría piagetiana de la *equilibración* sino en formulaciones más antiguas e imprecisas. En su última versión, Piaget (1975) intenta dar cuenta precisamente del papel del conflicto cognitivo y la toma de conciencia el proceso de equilibración. De hecho, aunque la teoría de Piaget suele ser aceptada o rechazada por su formulación de los estadios cognitivos, diversos autores (por ej., Coll, 1983; Gilbert y Swift, 1985; Linn y Siegel, 1984; Pozo, 1987a) coinciden en que el concepto de equilibración es, en términos de Lakatos (1978), el núcleo firme de su

teoría. La distinción entre diversos tipos de toma conciencia (por ej., Moreno, 1989) y de respuestas al conflicto cognitivo no ha sido suficientemente recogida por los partidarios del cambio conceptual, que al rechazar la teoría de los estadios parecen no atender a otros rasgos de la teoría piagetiana que, aunque oscuros en sus planteamientos, pueden iluminar otras investigaciones.

En este punto, como en otros, pensamos que la obra de Piaget ha sido injustamente tratada, o tal vez incomprendida, ya que sus posiciones, aunque bien diferenciadas de las adoptadas por los partidarios de las concepciones alternativas, no tienen por qué ser incompatibles con éstas. De hecho, el próximo capítulo está dedicado a encontrar un punto de encuentro entre las dos tradiciones que hemos comparado en este primer capítulo. Si la posición piagetiana es empíricamente difícil de sostener, especialmente en relación con los estadios y con el papel del pensamiento formal en la comprensión de la ciencia, el enfoque de las concepciones alternativas carece aún de una teoría que englobe la gran cantidad de datos que ha acumulado, que dé sentido a sus descubrimientos y, ante todo, que oriente las decisiones con respecto a la organización curricular y la didáctica de las ciencias. Aunque parte de esas ideas integradoras puedan hallarse en la propia obra de Piaget —y la equilibración sería una de ellas— otras pueden obtenerse en la psicología cognitiva y más concretamente en la psicología del pensamiento y del aprendizaje. Diversos autores (por ej., Andersson, 1986; Driver, 1988; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985) han señalado que las ideas de los alumnos tienen su origen en la percepción y en un razonamiento causal simple de las situaciones a las que se enfrentan. En las próximas páginas, analizaremos de qué forma el *pensamiento causal* de los alumnos puede no sólo ayudarnos a organizar los datos de que disponemos, sino también a conocer la organización mental del alumno, que debe ser uno de los condicionantes fundamentales, aunque nunca el único, de las decisiones sobre la futura organización temática del currículo de Ciencias de la Naturaleza.



CAPITULO 2

EL PENSAMIENTO CAUSAL COMO MODELO DE LA COMPRESION DE LA CIENCIA

Según una distinción filosófica clásica establecida por Ryle (1949), las personas disponemos de dos tipos de conocimiento bien diferenciados que cumplen funciones distintas. Tenemos un saber *declarativo*, consistente en nuestros conocimientos descriptivos o factuales sobre el mundo, pero también un saber *procedural* (o *procedimental*), consistente en los procedimientos efectivos de que disponemos para actuar sobre el mundo. Se trataría de dos tipos de conocimiento que se adquieren, representan y activan de modo diferente, según ha mostrado Anderson (1983; ver también de Vega, 1984; Pozo, 1989). Nuestro conocimiento *declarativo* describe cosas que sabemos y podemos expresar verbalmente (“las noches son oscuras”; “los pájaros vuelan”; “los objetos de madera flotan”; “los terrones de azúcar se disuelven en agua”), mientras que el conocimiento *procedural* está constituido por habilidades efectivas, cosas que sabemos hacer, normalmente de modo automático, aunque no siempre podamos describirlas verbalmente (conducir un coche, atarnos los zapatos, escribir en un ordenador, medir la temperatura de un gas o controlar las variables para hacer un experimento). Recientemente, Wellington (1989) ha sugerido la posibilidad de distinguir un tercer tipo de conocimiento, que podríamos llamar *explicativo*, que no consistiría ni en descripciones de hechos ni en secuencias de acciones, sino en saber por qué se producen esos hechos (¿por qué son oscuras las noches?, ¿por qué vuelan los pájaros?, ¿por qué flotan los objetos de madera?, ¿por qué se disuelven los terrones de azúcar?) o por qué es preciso ejecutar las acciones de una forma determinada (¿por

qué hay que apretar el embrague cada vez que se cambia de marcha?, ¿por qué hay que tomar la temperatura tras un tiempo determinado?, ¿por qué hay que mantener todas las variables constantes menos una cuando se realiza un experimento?).

El conocimiento explicativo —o saber *por qué*, no sería reducible a los anteriores e implicaría el dominio de modelos teóricos, analogías o marcos de referencia que darían significado a los hechos y a las acciones correspondientes a los otros dos tipos de conocimiento. Como señala el propio Wellington (1989) y está en el espíritu del D.C.B., la enseñanza de la ciencia no puede descuidar la importancia de ninguno de estos tres tipos de conocimiento. Sin embargo, tanto por razones epistemológicas como psicológicas, la comprensión de la ciencia por los alumnos, a cuyo análisis está dedicado este trabajo, estaría relacionada fundamentalmente con el conocimiento explicativo de los alumnos. Aunque no pueda desdeñarse la importancia de algunos conocimientos factuales ni el dominio de destrezas y habilidades de aprendizaje, la investigación sobre enseñanza de la ciencia ha estado centrada en los últimos tiempos en estudiar la forma en que los alumnos explican los más diversos fenómenos científicos. El conocimiento descriptivo y predictivo de los alumnos sobre, pongamos por caso, la flotación de los cuerpos es bastante exacto desde edades muy tempranas; sin embargo, sus explicaciones siguen siendo incorrectas, incluso bien entrada la adolescencia (Carretero, 1979; 1984). El principal problema de la comprensión de la ciencia es el dominio por parte de los alumnos de los sistemas conceptuales y las teorías científicas que Wellington (1989) engloba dentro del conocimiento explicativo. Ello no debe de ir en menoscabo de que los alumnos dominen los procesos y destrezas propios de la ciencia (Kirkham, 1989), sino que, como veremos más adelante ambos tipos de conocimiento —procedural y explicativo— se hallan estrechamente vinculados y en dependencia mutua.

Con el objeto de analizar el conocimiento explicativo que sobre la ciencia poseen los alumnos, situaremos éste, al igual que otros autores (Andersson, 1986; Carey, 1985a; Piaget y García, 1971) en el contexto del *pensamiento* causal que posee el alumno, ya que ello nos permitirá establecer una conexión no sólo entre los tipos de conocimiento antes mencionados, sino también entre las dos tradiciones de investigación educativa que nos ocuparon durante el capítulo anterior.

2.1 EL PENSAMIENTO CAUSAL COMO MODELO DE LA COMPRESION DE LA CIENCIA POR LOS ALUMNOS

La creciente y deseable introducción en el aula de preguntas que empiecen con un *por qué*... requiere del alumno la puesta en marcha de procesos psicológicos bien distintos de los necesarios para responder a preguntas de tipo descriptivo. Buena parte de los datos acumulados sobre las concepciones alternativas –por no hablar de la tradición piagetiana en el estudio de las explicaciones infantiles, que se remonta muy atrás en el tiempo (Piaget, 1926, 1927)– se basan en tareas que exigen al alumno ir más allá de la descripción de lo observado para adentrarse en el neblinoso mundo de las causas y los efectos. Aunque la descripción de hechos esté lejos de ser simple y directa, ya que tanto la epistemología como la psicología contemporáneas muestran que la percepción y la observación están “cargadas de teoría” (véanse Hanson, 1958; Heelan, 1983), lo cierto es que la búsqueda de causas para lo observado implica introducirse en un nivel más complejo, que requiere el dominio de sistemas conceptuales y teóricos no siempre similares a lo percibido. Si la percepción nos proporciona “hechos cargados de teoría”, la explicación requiere “teorías salpicadas de hechos”. Muchas de las dificultades en la comprensión de la ciencia por los alumnos parecen estar relacionadas con las limitaciones de los alumnos para dominar las explicaciones científicas, no sólo en las Ciencias de la Naturaleza (por ej., Andersson, 1986; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Pozo, 1987a) sino también en otras áreas, como las Ciencias Sociales (Domínguez, 1986; Peel, 1971; Pozo, Asensio y Carretero, 1986).

Uno de los rasgos que une a las dos tradiciones de investigación comentadas en el capítulo anterior es que ambas están centradas en las explicaciones causales que dan los alumnos sobre los fenómenos científicos, por lo que el *pensamiento causal* puede ser un marco teórico desde el que interpretar los datos acumulados desde una y otra perspectiva. Con el fin de hacer explícita la conexión de ambos enfoques en el pensamiento causal de los alumnos, organizaremos la exposición a partir de las cuatro preguntas en que basamos la comparación desarrollada en el apartado 1.3. Ello nos permitirá no sólo establecer los rasgos fundamentales del pensamiento causal sino también su relación con las dificultades de los alumnos en la comprensión de la ciencia y, en

definitiva, las implicaciones que tiene para la planificación de objetivos y la organización de contenidos en los futuros currículos de Ciencias de la Naturaleza.

2.2 EL FUNCIONAMIENTO DEL PENSAMIENTO CAUSAL; o por qué tienen los alumnos ideas previas sobre la ciencia que influyen en su aprendizaje

Como comentábamos unas páginas más atrás, la idea constructivista, entendida como la influencia de nuestras expectativas e ideas en la forma en que percibimos y actuamos en el mundo, no es algo exclusivo de los estudios sobre comprensión de la ciencia en los alumnos. De hecho, tener ideas previas influyentes y reacias al cambio no es algo que caracterice a los alumnos que estudian ciencias, sino que más bien es un rasgo que define al funcionamiento cognitivo del ser humano. Desde el bebé dando sentido a la conducta de las personas que le rodean (Bruner y Hastie, 1987), o los preescolares intentando explicar fenómenos tan sorprendentes como la vida y la muerte (Delval, 1975; Carey, 1985) o la extraña conducta de las nubes (Piaget, 1926), hasta los adultos en cualquiera de nuestras actividades cognitivas cotidianas, como recordar un suceso (Baddeley, 1982), interpretar la conducta de una persona, sea un loco, un árbitro o un político (Ibáñez, 1988; Páez et al., 1987), entender por qué un alumno fracasa (Rogers, 1982) o por qué fracasamos nosotros como profesores (Pope, 1988), o incluso deprimirnos, estar ansiosos o insomnes (Mahoney y Freeman, 1985), todo está impregnado de una sustancia ubicua, de color y forma indefinidos, una especie de arena húmeda y caliente que se nos escurre entre los dedos cada vez que intentamos conocerla: las expectativas o ideas previas.

Pocas son las áreas, los fenómenos o las situaciones en que no tenemos ninguna expectativa, y cuando así sucede es casi seguro que la situación carecerá de significado para nosotros. Cuando una situación es relevante para nosotros, necesitamos predecir lo que va a suceder y para ello es preciso tener alguna expectativa. Si percibiéramos el mundo sin ideas o pre-concepciones iríamos de sorpresa en sorpresa. Estas ideas, entendidas como una parte de nuestro pensamiento causal, cum-

plen una función muy importante en nuestro equilibrio cognitivo, que justifica su ubicuidad y resistencia al cambio. A continuación, y de un modo abreviado (para un análisis más extenso véase Pozo, 1987a), expondremos las funciones del pensamiento causal, sus componentes esenciales y, por último las características fundamentales de su desarrollo y aprendizaje. En próximos apartados desarrollaremos el modo en que los distintos componentes del pensamiento causal influyen en la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos.

2.2.1 Funciones del pensamiento causal

Una de las formas de entender por qué tenemos ideas causales tan influyentes y persistentes sobre la realidad es comprender las funciones que el pensamiento causal tiene en nuestra vida ordinaria. Dejando a un lado reflexiones de otro calibre (por ej., Bunge, 1959), nuestras ideas o conceptos sirven, en palabras de Bruner, Goodnow y Austin (1956), para "liberarnos de la esclavitud de lo particular". De un modo más específico parecen cumplir dos funciones fundamentales para nuestra supervivencia física y mental. En primer lugar nos permiten *predecir* acontecimientos futuros, deseados o temidos. Buena parte de aquel conocimiento declarativo al que nos referíamos unas páginas más atrás consiste en secuencias de hechos que nos permiten anticipar situaciones futuras. Pero además de predecir esas situaciones las podemos *controlar*. Es conveniente saber que si una botella cae al suelo se rompe, conocer qué cuerpos flotan y cuáles no o predecir la trayectoria que va a seguir un balón que se dirige velozmente hacia nosotros. Los estudios realizados tanto con animales como con personas muestran que la pérdida de predecibilidad y de control sobre los acontecimientos es sumamente dañina para los organismos. Un organismo que no controla hechos relevantes de su entorno es un organismo indefenso y demasiado vulnerable (Seligman, 1975).

Pero en los seres humanos el problema no es sólo predecir y controlar sino también *explicar* o, si se prefiere, atribuir un efecto a una determinada causa. Se ha comprobado por ejemplo que un factor que influye en la motivación de los alumnos —y de los profesores— es la interpretación que hacen de sus éxitos y fracasos. Lo grave no es sólo fracasar sino cómo explicamos el fracaso. Si lo atribuimos a causas que no controlamos, nos hallaremos indefensos ante el futuro. Por ello, en ocasiones resulta más conveniente desde el punto de vista de nuestra

autoestima crearnos lo que los psicólogos denominan una *ilusión de control* (Pérez Echeverría, 1990), es decir, creer que controlamos incluso los acontecimientos que están fuera de nuestro control. Las creencias mágicas y sobrenaturales en los pueblos primitivos, o incluso entre nosotros, parecen tener una función de controlar —aunque sea ilusoriamente— fenómenos naturales muy relevantes para la vida social (Guthrie, 1980; Lesser y Paynter, 1985). Sean animistas o causales, las explicaciones reducen lo aleatorio y lo incierto, infundiéndonos mayor seguridad en nuestras muchas veces aleatorias e inciertas decisiones y creencias. Abandonar una idea en la que creemos supone perder control sobre la realidad a no ser que dispongamos de una idea mejor. Una de las razones para la resistencia de los alumnos al cambio conceptual puede ser que la nueva explicación no dé cuenta, a los ojos de los alumnos, todo lo que su concepción, por alternativa que sea, controla y explica (Posner *et al.*, 1982; Pozo, 1987a). Johnson (1987) ha mostrado recientemente que esa resistencia se produce no sólo entre los alumnos, sino también entre los profesores cuando se ven enfrentados a abandonar su modelo didáctico habitual por otro nuevo, supuestamente más eficaz. En el apartado 2.5. volveremos a algunas de las implicaciones de estas ideas para el cambio conceptual y el aprendizaje de la ciencia.

Pero si la explicación causal de los hechos es tan relevante para nuestro funcionamiento cognitivo, cabe esperar que las personas dispongamos de procedimientos eficaces y poco costosos para obtener información causal sobre el mundo. De hecho, a pesar de las diferencias culturales y educativas entre las personas, parece haber ciertos procesos cognitivos comunes a la formulación y el mantenimiento de las explicaciones causales. Esos procesos están relacionados con los principales componentes identificados en el pensamiento causal.

2.2.2 Componentes del pensamiento causal

Aunque existen posiciones teóricas divergentes al respecto (véase Pozo, 1987a), en las explicaciones causales que utilizamos cotidianamente las personas pueden identificarse tres componentes o elementos diferenciados: unos *principios causales*, de carácter general, que establecen un marco en el cual realizar nuestras explicaciones causales, unas *reglas de inferencia*, que utilizamos para buscar las posibles causas de un fenómeno observado y nos conducen a fijarnos en ciertos antecedentes, y unas *ideas o expectativas* sobre cuáles son las causas más

probables de ciertos hechos, extraídas de los conocimientos o saberes producto de nuestra experiencia anterior.

Los principios generales de la causalidad serían los que menor interés tendrían para la enseñanza de la ciencia, ya que, de existir, serían unas leyes generales del pensamiento causal de las que las personas dispondríamos, posiblemente con un fuerte componente innato, que determinarían tanto nuestras búsquedas causales como nuestras ideas o teorías explicativas sobre cualquier tipo de fenómeno. Estas leyes generales de la causalidad incluirían principios tales como que la causa nunca puede suceder al efecto o que en condiciones causales constantes, se producen siempre los mismos efectos. Junto con la propia controversia teórica sobre su existencia y su posible carácter innato (Pozo, 1987a), los principios, aunque dan forma a los otros dos componentes, tienen escasa relevancia para la enseñanza de la ciencia, ya que, en cualquier caso, se hallan muy desarrollados a la edad de dos o tres años.

Mayor interés poseen los otros dos componentes mencionados. Imaginemos que súbitamente un cristal de la habitación en la que estamos cae hecho añicos; ¿a qué se debe la rotura del cristal? Supongamos que carecemos de cualquier conocimiento o idea previa sobre la naturaleza y el "funcionamiento" de los cristales. Buscaremos la causa según ciertas reglas o criterios habitualmente usados en nuestro pensamiento causal. Seguramente pensaremos que la rotura del cristal se debe a algo sucedido inmediatamente antes del efecto (tal vez un golpe que ha recibido, tal vez un portazo. . .). Cuando carecemos de expectativas determinadas sobre las causas de un fenómeno o cuando esas expectativas son muy débiles —y ese es el caso de los alumnos ante muchas tareas— tendemos a buscar esas causas siguiendo ciertas reglas de razonamiento que han sido abundantemente estudiadas por la filosofía occidental a partir de Hume y que, más recientemente, han sido investigadas con bastante detalle por los psicólogos evolutivos y cognitivos.

Esas reglas, que constituyen parte de nuestro razonamiento cotidiano y que nos sirven para buscar explicaciones a las situaciones nuevas o imprevistas, incluirían entre otras a la contigüidad espacial y temporal, la semejanza, o la covariación entre causa y efecto (por ej., Bullock, Gelman y Baillargeon, 1982). Aunque respetan los principios generales de la causalidad, estas reglas tienen una eficacia limitada y, de hecho, no son asumidas hoy en casi ningún área de teorización científica. Sin embargo, resultan útiles en la vida cotidiana, ya que son de fácil aplicación y suelen conducir a explicaciones que, si no científicamente

correctas, permiten una cierta predicción y control sobre los acontecimientos, que, como vimos anteriormente, es una de las funciones del pensamiento causal. Más adelante, en el apartado 2.3., se analizaremos con cierto detalle las reglas de inferencia causal habitualmente usadas por los alumnos en su búsqueda de explicaciones para los fenómenos científicos, ya que consideramos que estas reglas son el fundamento psicológico de lo que algunos autores (Gil, 1986; Gil y Carrascosa, 1985) han denominado la "metodología de la superficialidad", origen de buena parte de las concepciones alternativas de los alumnos.

Acabamos de señalar que las reglas de inferencia se utilizan para buscar causas a fenómenos contrarios a nuestras expectativas o para los cuales carecemos de explicaciones previas. De hecho, sólo tenemos que buscar las causas de un hecho o bien cuando ese hecho resulte sorprendente —por ej., un conocido no trata de manera despectiva o insultante— o bien cuando alguna persona o circunstancia nos induce a preguntarnos por las causas de un fenómeno cotidiano, que normalmente podemos describir pero no explicar. Dicho de otra forma, en la vida cotidiana sólo buscamos explicaciones para los fenómenos que se oponen a nuestras expectativas, que son "anormales". Nos preguntamos por qué se rompe un cristal, no por qué no se rompe, por qué se separa una pareja, no por qué siguen juntos (salvo en casos de clamorosa incompatibilidad).

De esta forma nuestras propias expectativas determinan qué debe ser explicado. Aunque muchas de las cosas que sabemos y esperamos tal vez no sepamos explicarlas (¿por qué al apretar un botón veo por la pantalla las imágenes de algo que está sucediendo ahora en otro rincón del planeta?, ¿por qué brillan las estrellas por la noche?, ¿por qué sonríen los niños?, ¿por qué un país tan rico como Argentina se halla en una situación tan crítica?), nuestras propias expectativas determinan lo que debe ser explicado y cómo. Los estudios más recientes sobre el pensamiento causal humano destacan cada vez más la importancia de las expectativas y de las teorías explicativas que las personas tenemos con respecto a los más diversos dominios (por ej., Bullock, Gelman y Baillargeon, 1982; Carey, 1985a; Pozo, 1987a). Esto mismo ha sucedido en el estudio de la comprensión de la ciencia por los alumnos, en el que el interés se ha centrado últimamente en sus concepciones alternativas, aunque no siempre se ha diferenciado entre sus teorías explicativas —por qué sucede algo— y sus expectativas —sé que algo sucede pero no sé por qué. Mientras que el conocimiento cotidiano —y las concepciones alter-

nativas son en buena medida conocimiento cotidiano— es muchas veces descriptivo, el conocimiento científico debe ser explicativo. El cambio conceptual, desde este punto de vista, implica también el paso de un tipo de conocimiento a otro, lo que trae consigo no solamente la sustitución de unas ideas por otras, sino el cambio de un tipo de conceptos a otros y la aparición de nuevas formas de representación y organización del conocimiento (véase más adelante el apartado 2.4.).

Como puede observarse, tanto las reglas de inferencia —entendidas como procedimientos para indagar en la realidad— como las ideas o teorías causales —esos conocimientos previos de los alumnos en los que según la posición constructivista debe basarse la enseñanza— constituyen núcleos esenciales de la educación científica. No se trata de primar uno en detrimento de otro, sino más bien de conocer la conexión que existe entre ellos y el modo en que unas —las reglas— y otras —las ideas— se adquieren y desarrollan.

2.2.3 Aprendizaje y desarrollo del pensamiento causal

El propio D.C.B., al diferenciar diversos tipos de contenidos en la enseñanza de la Ciencia, subraya la necesidad de vincular unos a otros. Para ello puede ser de utilidad exponer, aunque sea de un modo breve, los conocimientos actuales sobre las relaciones entre la forma en que razonamos causalmente y las explicaciones que somos capaces de elaborar. Obviamente estas relaciones, como consecuencia de la instrucción y del propio desarrollo cognitivo, están sujetas a cambios con la edad. Aunque aquí nos interesa especialmente el periodo de la adolescencia es conveniente no perder de vista otras etapas.

Como parece suceder en casi todas las áreas, incluida la enseñanza de la ciencia (véase el capítulo 1 de este trabajo), los estudios sobre el pensamiento causal estuvieron centrados inicialmente en las reglas de razonamiento que usaban niños de distintas edades, para más adelante ir descubriendo la necesidad de estudiar también sus ideas causales, que no podían ser reducidas a aquellas. Esos estudios sobre el desarrollo de las reglas de inferencia causal en los niños (véase por ej., Pozo, 1987a; Shultz, 1982) nos permiten distinguir entre reglas simples (contigüidad espacial y temporal, semejanza y covariación simple) y reglas complejas (covariación múltiple, control de variables y correlación). La diferencia entre unas y otras no atiende tanto a criterios lógicos o formales como

a criterios cuantitativos. Mientras que las reglas simples, que parecen dominarse con eficacia en torno a los 4-5 años, tienen en cuenta sólo dos posibles antecedentes y un consecuente. Sin embargo, las reglas complejas deben considerar simultáneamente un mayor número de factores, por lo que su demanda cognitiva es mayor (véase en el punto 7.1.2. la influencia de la demanda cognitiva de la tarea de acuerdo con la posiciones neopietianas). Ello no sólo implica una edad más tardía en el acceso a las reglas complejas, vinculadas a las operaciones formales piagetianas y por tanto al uso de un pensamiento científico, sino incluso un uso limitado de las mismas entre los adolescentes y los adultos. Así, sólo un 50% de los adolescentes y adultos suelen utilizar el control de variables en tareas que lo requieren (Carretero, 1985a) e incluso es menor el porcentaje de sujetos que usan un razonamiento correlacional para establecer las causas de un fenómeno (Pérez Echeverría, 1990).

Esta escasez en el uso de reglas causales complejas —o si se prefiere de estrategias de pensamiento formal— lleva aparejada una confianza en otras reglas más simples o superficiales. Dado que usar una regla compleja, como la correlación o el análisis sistemático de variables, es costoso desde un punto de vista cognitivo, la mayor parte de las personas, adultos incluidos, seguimos confiando en otras reglas más simples que, aunque potencialmente erróneas, son habitualmente eficaces (Kahneman, Tversky y Slovic, 1982; Pérez Echeverría, 1989a). Estas reglas de uso cotidiano, conocidas como *heurísticos* o “reglas de andar por casa” (de Vega, 1984), por oposición al carácter algorítmico o sistemático de las reglas complejas, vendrían a coincidir básicamente con las leyes empiristas de la causalidad —o reglas causales simples— y serían el sustrato básico de la “metodología de la superficialidad” (Gil, 1986; Gil y Carrascosa, 1985) utilizada por los alumnos para inferir relaciones causales sobre los fenómenos científicos.

Una de las variables más determinantes en el uso que las personas hacemos de nuestras reglas de razonamiento parece ser el contenido de las tareas a las que las aplicamos (Pérez Echeverría, 1990; Pozo, 1988a). No razonamos causalmente igual en un área que en otra. La experiencia previa no sólo nos proporciona conocimientos que guían nuestra búsqueda de causas sino también destrezas que incrementan nuestra capacidad cuantitativa de procesamiento, haciendo más fácil la aplicación de reglas más complejas (Anderson, 1983; Case, 1985; Pozo, 1989). Los estudios recientes sobre diferencias entre personas expertas y novatas en la solución de problemas en un área específica (por

ej., Chi, Glaser y Farr, 1988) muestran que los expertos no sólo tienen más conocimientos y los tienen organizados de forma distinta que el novato sino que además saben usarlos de un modo más eficiente, ya que en buena medida tienen automatizada su aplicación. Además, los expertos, debido a su mejor organización conceptual, poseen teorías causales más elaboradas, lo que les permite, de acuerdo con los principios constructivistas, interpretar las situaciones de modo distinto a los novatos y aplicar sus reglas de inferencia de modo distinto. La principal diferencia entre los expertos y los novatos no parece residir en que dispongan de reglas de inferencia causal distintas sino que, al poseer teorías o concepciones diferentes, las utilizan con una mayor eficacia. Según resultados obtenidos en nuestro país, el pensamiento causal de los físicos difiere del de los adolescentes y del de otros licenciados universitarios, en este caso historiadores, en sus teorías explicativas y en el uso que hacen de las reglas complejas (por ej., control de variables) pero no en su capacidad para utilizar éstas últimas (Pozo, 1987a; Pozo y Carretero, en prensa). En otras palabras, las principales limitaciones de los adolescentes con respecto a la comprensión de la ciencia se deberían no tanto a que no fueran capaces de razonar de modo complejo—superando una búsqueda causal superficial, por ejemplo mediante un riguroso control de variables—cuanto a carecer de teorías más elaboradas, “alternativas” a sus concepciones alternativas, sobre los fenómenos científicos—que les informen sobre qué variables hay que controlar—y a su falta de destreza en utilizar los procedimientos de que disponen—cuándo hay que controlar variables.

En todo caso, el cambio metodológico, entendido como una superación de esa metodología de la superficialidad (Gil y Carrascosa, 1985) sería un complemento inseparable del cambio conceptual. Aunque la comprensión de los conceptos científicos sea un objetivo irrenunciable de la enseñanza de la ciencia, ya que sin esos conceptos es imposible un acercamiento científico a la realidad, no basta con promover en los alumnos un cambio conceptual si éste no va acompañado de un cambio en las reglas usadas para inferir—o buscar causas—en situaciones nuevas. De poco valdría, si es que fuera posible, hacer accesibles a los alumnos las teorías científicas más avanzadas sin modificar también la “metodología” que utilizan para extraer nuevas causas. Esa “metodología”, constituida por reglas de razonamiento cotidiano, se halla en el origen de las propias concepciones alternativas que, según algunos autores, obstaculizan la comprensión de conceptos científicos. Si queremos

que los alumnos comprendan mejor los hechos científicos es necesario acudir al origen de esas concepciones. Ya que de causalidad estamos hablando, de poco vale actuar sobre el efecto sin modificar la causa. El problema es que, en el caso del aprendizaje de la ciencia, todo parece indicar que conceptos y procedimientos se implican mutuamente, por lo que no es posible una enseñanza de la ciencia que prescindiera de uno de ellos (véase Wellington, 1989).

2.3 EL PENSAMIENTO CAUSAL COMO ORIGEN DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS; o qué ideas tienen los alumnos y por qué tienen precisamente esas ideas

Si se parte de la idea, como el D.C.B. y las corrientes de investigación actuales asumen, de que para enseñar ciencia hay que modificar las ideas de los alumnos, no basta con conocer éstas —por importante y necesario que esto sea— sino que además es necesario acudir a sus orígenes, ya que de lo contrario eliminaremos el síntoma pero no las causas. Dejando a un lado otro tipo de reflexiones sociológicas, epistemológicas y curriculares, aquí nos centraremos en los procesos cognitivos del alumno que favorecen la aparición de esas ideas. En la literatura reciente se encuentran un buen número de sugerencias sobre los causas psicológicas de que los alumnos tengan las ideas que tienen sobre los hechos científicos. Desde la predominancia de lo perceptivo (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985) o el uso de un razonamiento causal simple (Andersson, 1986) hasta la influencia de la cultura y la sociedad (Giordan y de Vecchi, 1987; Solomon, 1987), canalizada especialmente a través del lenguaje (Llorens, en prensa), sin olvidar los efectos nocivos de ciertas formas de didáctica de la ciencia que a veces no sólo no modifican las ideas previas de los alumnos sino que además generan nuevas ideas científicamente erróneas. Aunque posiblemente todas estas fuentes —y algunas otras no mencionadas o tal vez impensadas aún— estén interactuando en el origen de las ideas de los alumnos, es importante analizar las distintas implicaciones de cada uno de esos tipos de causa, ya que se ha sugerido que la estabilidad y la propia naturaleza representacional de las concepciones de los alumnos dependen en parte de los procesos mediante los que se han construido, por lo que no

sería descabellado pensar que su cambio requiera a su vez estrategias didácticas distintas.

Todas las causas antes mencionadas pueden, a nuestro entender, clasificarse en tres grandes grupos, que originarían tres tipos de concepciones levemente diferenciadas, aunque en continua interacción:

- a) *Concepciones espontáneas*: se formarían en el intento de dar significado a las actividades cotidianas y se basarían esencialmente en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a datos recogidos —en el caso del mundo natural— mediante procesos sensoriales y perceptivos.
- b) *Concepciones transmitidas* o inducidas: el origen de estas concepciones no estaría tanto dentro del alumno como en su entorno social, de cuyas ideas se impregnaría el alumno. La cultura es entre otras muchas cosas un conjunto de creencias compartidas por unos grupos sociales, de modo que la educación y la socialización tendrían entre sus metas prioritarias la asimilación de esas creencias por parte de los individuos. Dado que el sistema educativo no es hoy el único vehículo —y a veces ni siquiera el más importante— de transmisión cultural, los alumnos accederían a las aulas con creencias socialmente inducidas sobre numerosos hechos y fenómenos.
- c) *Concepciones analógicas*: a pesar de la ubicuidad de las concepciones alternativas, existen algunas áreas de conocimiento con respecto a las cuales los alumnos carecerían de ideas específicas, ya sea espontáneas o inducidas, por lo que para poder comprenderlas, se verían obligados a activar, por analogía, una concepción potencialmente útil para dar significado a ese dominio. Cuanto menor sea la conexión de un dominio con la vida cotidiana mayor será la probabilidad de que el alumno carezca de ideas específicas al respecto. De esta forma, la comprensión debe basarse en la formación de analogías, ya sea generadas por los propios alumnos o sugeridas a través de la enseñanza.

Como hemos comentado, esta distinción no implica que desde un punto de vista cognitivo las diferentes concepciones funcionen por separado. Así, por ejemplo, las analogías deben formarse a partir de concepciones ya existentes, normalmente formadas a través de las otras vías.

Del mismo modo, las concepciones socialmente inducidas deben ser asimiladas por cada persona en función de sus conocimientos previos, en los cuales obviamente las concepciones espontáneas desempeñan una función primordial. Por ello, aunque expondremos por separado las características de cada uno de estos tipos de concepciones, lo haremos buscando también su conexión. Para ello seguiremos el orden antes expuesto, comenzando por las más inmediatas a la psicología del alumno para adentrarnos luego en las restantes.

2.3.1 Concepciones espontáneas: la psicología del sentido común

En los últimos años la imagen de los adolescentes y adultos como "animales racionales" ha cambiado profundamente en la psicología del pensamiento. De seres dotados de una lógica, formal o natural, innata o construida, hemos pasado a ser personas dominadas por tendencias intuitivas poco "lógicas", de dudosa racionalidad y plagadas de sesgos en nuestro razonamiento. Se ha ido imponiendo cada vez más la idea de que las personas —profesores y alumnos incluidos— nos regimos más por criterios de conveniencia pragmática que de coherencia lógica (Pérez Echeverría, 1989; de Vega, 1984). En nuestros análisis causales no buscamos tanto ser rigurosos y exhaustivos en nuestras explicaciones como tener ideas eficaces, es decir, altamente predictivas (Pozo, 1987a). Esta imagen poco rigurosa o racional —siempre que la racionalidad se defina con criterios lógicos— de nosotros mismos tiene implicaciones importantes con respecto a las búsquedas causales que realizan los alumnos y a las concepciones que forman mediante su razonamiento causal.

Uno de los conceptos que mayor influencia ha tenido en la reciente evolución de la psicología del pensamiento ha sido la noción de *heurístico* desarrollada por Tversky y Kahneman (1974). Según estos autores 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. Esas reglas aproximativas, que ellos denominan heurísticos, conllevarían ciertos sesgos que nos alejarían de las conclusiones formalmente correctas —o científicamente válidas— pero serían pragmáticamente útiles en la vida cotidiana. Aunque no están aún del todo claros ni el estatuto psicológico de los heurísticos

(por ej., García Madruga y Carretero, 1986; Pérez Echeverría, 1990; Vázquez, 1985) ni su generalidad o ámbito de aplicación —ya que las investigaciones se han realizado casi exclusivamente con adultos—, en el análisis causal de los fenómenos científicos, por la complejidad de éstos, se pueden identificar una serie de reglas, de carácter heurístico, cuya construcción y aplicación a dominios específicos se conoce con un cierto detalle (véase Pozo, 1987a) y que constituyen una auténtica “metodología de la superficialidad” (Gil, 1986; Gil y Carrascosa, 1985) por oposición a la metodología científica rigurosa.

La mayor parte de las reglas de razonamiento causal cotidiano, estudiadas tanto en el razonamiento infantil como en el adulto, están directa o indirectamente emparentadas con las leyes empiristas de la causalidad enunciadas por David Hume. Los empiristas partían del supuesto de que todas nuestras ideas y conocimientos proceden de las impresiones que los estímulos dejan en nuestros sentidos. Este origen sensorial o perceptivo de las ideas requiere una serie de reglas que asocien unos hechos con otros y unas ideas con otras. Esas reglas parecen adquirirse tempranamente (en torno a los 4-5 años) y siguen formando parte de la psicología de sentido común que usamos los adolescentes y adultos (Pozo, 1987a). Por consiguiente el cambio metodológico que algunos autores (por ej., Gil, 1986; Gil y Carrascosa, 1985) reclaman como complemento imprescindible del cambio conceptual en la enseñanza de la ciencia consistiría, desde este punto de vista, en gran medida en la superación o la restricción en el uso de las reglas de inferencia causal que se describen e ilustran a continuación.

Esta exposición, que no necesariamente agota todas las reglas utilizadas por los alumnos en su razonamiento espontáneo, recoge no obstante las más importantes, de acuerdo con las investigaciones realizadas hasta la fecha. De entre ellas hay una de carácter más general que las restantes, ya que no informa sobre cuál puede ser la causa de un fenómeno sino sobre cuándo debe ponerse en marcha la búsqueda de causas. Como diversos autores han destacado (por ej., Driver, 1988; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985), los alumnos tienden a *explicar los cambios, no los estados*. En contra de los supuestos de la mecánica newtoniana, los alumnos suelen mantener la creencia aristotélica de que el estado o el reposo es el estado “natural” de las cosas, de tal forma que todo movimiento debe ser explicado, y por tanto todo movimiento implica una causa —en este caso, una fuerza— (Driver, 1986; Pozo, 1987b). Igualmente, en su comprensión de los fenómenos quími-

cos (véase el capítulo 6 de este trabajo para una revisión) los alumnos buscan explicaciones a los cambios aparentes pero no a los estados, lo que les impide comprender conceptos como el de reacción química (Andersson, 1986b).

La asimetría establecida por los alumnos entre los estados —que no precisan explicación— y los cambios —que deben ser explicados— es común a nuestro pensamiento cotidiano. Pocas veces nos preguntamos sobre el funcionamiento de nuestro coche... hasta que algo deja de funcionar; hay que explicar por qué se separan las parejas... no por qué siguen juntos no hay que explicar por qué los alumnos aprueban... sino por qué suspenden, etc. De hecho, podríamos decir que las personas tendemos a no hacer demasiadas indagaciones causales sobre lo que nos parece “normal” o “natural”. Solemos poner en marcha nuestras reglas de búsqueda causal cuando nos encontramos con un hecho sorprendente e inesperado, con algo nuevo. Nos preguntamos por qué tenemos ese molesto dolor de cabeza, no por qué no lo tenemos... a no ser que padezcamos una cefalea crónica y un día de pronto dejemos de sentir dolor; hay que buscar las causas de un suspenso... siempre que no suspendamos siempre, en cuyo caso habría que explicar más bien los aprobados. Adquirir una actitud científica es en parte aprender a hacerse preguntas sobre el estado de las cosas, sobre lo normal y cotidiano.

Esta centración en los cambios más que en los estados supone para los alumnos una importante limitación para construir algunos de los esquemas esenciales para la comprensión de la ciencia (véase más adelante el apartado 2.4.), como son las nociones de conservación y equilibrio. Todo cambio implica a un tiempo transformación y conservación y la comprensión de una relación causal implica captar la relación entre ambos (Piaget y García, 1971). Difícilmente van a comprender los alumnos lo que se conserva si se fijan sólo en lo que se transforma. Y así también se dificulta la comprensión de nociones de equilibrio, basadas en principios de acción y reacción, relación entre estados sucesivos que, más allá de ciertas transformaciones, mantienen o conservan un cierto equilibrio. Sin entender estas dos nociones no es posible por ejemplo, comprender el concepto de reacción química (Andersson, 1986b; para una revisión sobre este y otros conceptos químicos relacionados véase el capítulo 6 de este trabajo).

Junto a este principio general, que se refiere a cuándo hay que explicar algo, existen otras reglas más específicas que vendrían a in-

formar sobre cuáles son las causas más probables de un hecho. Una primera regla sería la *accesibilidad*, correspondiente al heurístico del mismo nombre enunciado por Tversky y Kahneman (1974). De acuerdo con esta regla, dado un efecto tenderemos a atribuirlo a aquella causa que resulte más accesible a nuestra memoria, es decir que recuperemos con mayor facilidad. Aunque las leyes y procesos que rigen la recuperación de la información de nuestra memoria son muy complejos (por ej., Baddeley, 1982, 1990; Tulving, 1983; de Vega, 1984), a efectos de la presente exposición podemos destacar tres factores que influyen en la facilidad de recuperación de una idea, hecho o principio de nuestra memoria.

En primer lugar, recuperaremos un dato o una idea cuanto más recientemente la hayamos procesado o utilizado. Si ayer se rompió un cristal a causa de un portazo, es probable que si se rompe ahora otro cristal lo atribuya a la misma causa, siempre que ello no vaya en contra del resto de las reglas de inferencia. Este efecto de *recencia* en la recuperación de información de la memoria a largo plazo le confiere una cierta "contemporaneidad" a las concepciones del alumno, que en algunos casos cobran significado en la realidad social inmediata. Este efecto se complementa con otro de *frecuencia*, según el cual propondremos más probablemente aquellas causas a las que recurrimos un mayor número de veces. En otras palabras, cada vez que atribuyo un hecho a una causa, aumento la probabilidad de volver a recurrir a esa causa. Dado que la experiencia cotidiana de todas las personas no es exactamente igual, este factor puede producir ciertas diferencias individuales en la explicación causal, en función de nuestra pericia (o *expertise*) en un área. Por último, un tercer factor que afecta a la probabilidad de recuperación de una información es el grado en que esa información es destacada o sobresaliente. La *saliencia* de la información depende especialmente de la forma en que la recibimos y procesamos. Numerosos estudios (véase Kahneman, Slovic y Tversky 1982; Nisbett y Ross, 1980) han mostrado que en las personas adultas la información percibida directamente —por ej., ver un accidente de tráfico o sufrir un atraco— afecta más a la persona que la información más abstracta, codificada conceptualmente —por ej., estadísticas sobre el número de accidentes de tráfico o de atracos—, de tal forma que es la información más "vívida" la que se recupera más fácilmente, incrementando la probabilidad subjetiva de que ese fenómeno vuelva a ocurrir. Este efecto vendría a mostrar que las representaciones más abstractas se recuperan más difícilmente que las

más concretas en contextos concretos y obviamente se vería incrementado en el caso de los niños y de las personas poco instruidas, ya que una de las funciones de la educación parece ser fomentar los sistemas de representación más abstractos.

En la comprensión de la ciencia por los alumnos se ha destacado repetidamente (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Serrano, 1988) que sus concepciones se centran casi exclusivamente en lo observable, que su pensamiento está “dominado por lo perceptible”. Así, la luz sólo existe cuando sus efectos son observables (Guesne, 1985), los rozamientos no se conciben como fuerzas (Pozo, 1987b; di Sessa, 1983) y los gases tienen propiedades cuando están coloreados, pero no cuando no son visibles (Seré, 1985). De esta forma, los alumnos parecen partir de una regla, basada en la accesibilidad, que afirmaría algo así como que “*lo que no se percibe, no se concibe*”, encontrándonos ante un caso más de *décalage* vertical, tal como lo define Piaget. La construcción del conocimiento supondría así una superación progresiva de las apariencias proporcionadas por diferentes formas de representación, desde la no conservación del objeto permanente en los bebés —que funcionarían mediante una regla “fuera de la vista, fuera de la mente” —o la superación de los engaños perceptivos propios del periodo *peroperacional* mediante las conservaciones observables y finalmente la construcción de las conservaciones no observables (véase más adelante el apartado 2.4.).

Además del heurístico de accesibilidad, Tversky y Kahneman (1974) formulan un segundo heurístico, que ellos denominan “representatividad” y al que nosotros —recurriendo a la terminología clásica de Hume— nos referiremos como regla de *semejanza*. Dejando a un lado otras situaciones en las que las personas aplicamos esta regla, en nuestros análisis causales tendemos a creer que existe una semejanza básica entre las causas y los efectos, por lo que ante un efecto novedoso tendemos a buscar causas similares a él en algunos aspectos. Una de las implicaciones de esta regla es que las personas tendemos a creer que existe una semejanza entre los hechos y los modelos que los explican. Los que no somos expertos en un área tendemos a explicar los estados emocionales de las personas por causas emocionales, o la situación económica de un país por causas económicas, mientras que los expertos admiten una más compleja relación entre causas y efectos de naturaleza diferente (por ej., Pozo y Carretero, 1989). Otro tanto les sucede a los alumnos con la ciencia. Si en el mundo observable o macroscópico la

materia es continua así será también en el mundo microscópico (véanse los capítulos 4 y 5 de este trabajo). Una consecuencia de esta regla será que tenderemos a atribuirle a la realidad desconocida las propiedades de los modelos conocidos o más accesibles. Así, los niños (Carey, 1985a) e incluso los adultos (Delval, 1975; Lesser y Paynter, 1985) tendemos a atribuir propiedades animistas al mundo inanimado o, en el área de biología, a explicar la conducta de los organismos con criterios "antropocéntricos", atribuyéndoles intenciones y metas similares a las que atribuimos a nuestra propia conducta y a la de los demás.

Pero esta regla de semejanza tiene una segunda consecuencia sobre nuestros juicios causales. Además de creer en ocasiones que las causas son de la misma naturaleza que los efectos observados, tendemos a creer muchas veces que existe una semejanza o correspondencia cuantitativa entre ambas. Según el conocido dicho de que a "a grandes males, grandes remedios", tendemos a creer, de forma intuitiva, que a grandes efectos, grandes causas. Así, un cambio cuantitativo del efecto se debe corresponder con un cambio cuantitativo similar en la causa, y viceversa. Ante un recipiente con agua hirviendo (a 100°), los alumnos creen que si incrementamos la intensidad del fuego aumentará en correspondencia la temperatura del agua (Andersson, 1986a). En mecánica tienden a creer que el movimiento de los objetos está causado por una fuerza en la dirección del movimiento que aumenta a medida que el objeto se acelera y disminuye a medida que éste decelera (Pozo, 1987b).

Esta creencia en la relación cuantitativa entre causa y efecto afecta al razonamiento causal de los alumnos de otra forma. Según la teoría de la atribución causal de Kelley (1967), las personas dispondríamos de esquemas causales simples y múltiples, pero sólo utilizaríamos éstos últimos cuando la intensidad del efecto fuera muy alta, ya que supondríamos que esa intensidad se debería a la concurrencia de varias causas y no a la acción de una sola. La mayor parte de los autores coinciden en señalar que el razonamiento espontáneo de los alumnos sobre fenómenos científicos se basa en una *casualidad lineal y simple*, sin que, que nosotros sepamos, se hayan estudiado los efectos de "descuento" de causas postulados por Kelley. Aunque este carácter lineal, unidireccional y simple de las explicaciones causales de los alumnos (por ej., Andersson, 1986; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985) se analizará con más detalle en el punto 2.4., al estudiar la estructura causal y la organización conceptual de las concepciones de los alumnos, diversos estudios (por ej., Kuhn, 1983; Pozo, 1987a; Pozo, Asensio y Carretero,

1986; Pozo y Carretero, 1989) han mostrado que la complejidad de las relaciones causales establecidas se incrementa con la edad y la instrucción, si bien incluso los adultos instruidos siguen buscando relaciones causales simples cuando se encuentran con efectos aparentemente fáciles de explicar. El problema no sería sólo que los alumnos tengan en cuenta un mayor número de factores para explicar un hecho —en vez de recurrir a una sola causa— sino también la relación, aditiva o interactiva, que establecen tanto entre las propias causas como entre las causas y sus efectos.

Otra de las reglas habituales en el razonamiento causal cotidiano de los alumnos es la *contigüidad espacial* entre causa y efecto. La causa debe estar próxima, sino en contacto directo con el efecto (Andersson, 1986a). Aunque en algunos dominios podemos admitir la causalidad indirecta o mediada, tendemos a buscar las causas cerca o en contacto con los efectos, o, en palabras de Andersson (1986a), *cuanto más cerca, mayor es el efecto*. Así, ante un circuito eléctrico, los alumnos creen que cuanto más alejada está una bombilla de la fuente de energía menos lucirá (Andersson, 1986a; Guesne, 1985) y que una pérdida de contacto entre causa y el efecto disminuye o hace desaparecer la relación causal. El razonamiento secuencial de los alumnos sobre circuitos eléctricos (por ej., Acevedo, 1989a) no es el único ejemplo de la necesidad de ese contacto. Otros similares se encontrarían en mecánica —un objeto en movimiento lleva una fuerza o ímpetus en sí mismo—, en química (véanse los numerosos ejemplos reseñados en los capítulos 4, 5 y 6 de este mismo trabajo), en biología, en relación, por ejemplo, con las ideas sobre el contagio como causa de buena parte de las enfermedades (del Barrio, 1988).

Muy conectada con lo que acabamos de decir está la regla de *contigüidad temporal* entre causa y efecto, según la cual no sólo estarían próximos en el espacio sino también en el tiempo. Aunque el horizonte temporal del alumno va aumentando con la edad de tal forma que progresivamente va representándose periodos de tiempo más largos (por ej., Friedman, 1982; Piaget, 1946), hay una tendencia a buscar las causas de los hechos en los fenómenos inmediatamente anteriores a los efectos. Esta tendencia suele ser útil en la causalidad mecánica, pero plantea dificultades cuando los fenómenos que deben explicarse se inscriben en periodos notablemente largos. Así sucede en el caso del tiempo personal (Levin y Zakay, 1989), de las explicaciones históricas (Asensio, Carretero y Pozo, 1989; Pozo, 1985) y, en el caso de las

Ciencias de la Naturaleza, en la comprensión de los cambios geológicos y biológicos. Por ejemplo, el concepto darwiniano de selección natural requiere, a diferencia de las concepciones lamarquianas, tiempos muy largos para la producción de las mutaciones aleatorias ambientalmente seleccionadas, lo cual podría ser un factor que contribuiría a dificultar la comprensión de las ideas darwinianas, y, junto con el egocentrismo cognitivo derivado del sesgo de accesibilidad, facilitaría la aparición de ideas finalistas o lamarquianas entre los alumnos (Jiménez Aleixandre, 1990). En todo caso, la amplitud de los tiempos geológico y biológico, en mayor medida aún de lo que sucede con el tiempo histórico, introduce dificultades cognitivas específicas en la comprensión de las nociones de estas áreas, frente al mundo "más contiguo" de los cambios físicos y químicos.

Una última regla tiene que ver con el uso que las personas hacemos de la *covariación*. Aunque *stricte sensu* la covariación entre dos hechos, por sistemática que sea, no implica una relación causal entre ellos (por ej., el rayo y el trueno no están causalmente relacionados entre sí, sino que ambos son efectos de otra causa común), las personas, alumnos incluidos, tendemos a atribuir causalidad a los hechos que suceden sistemáticamente juntos. En su forma más elemental, una simple coocurrencia entre dos hechos puede bastarnos para establecer una conexión causal entre ellos (Acevedo, 1989b; Kuhn, Pennington y Leadbeater, 1983; Pozo, 1988c). Las dificultades que muestran los alumnos para controlar variables, debidas sobre todo a problemas conceptuales y metacognitivos, están relacionadas con la dificultad de usar explicaciones causales múltiples y con la de analizar covariaciones múltiples en lugar de simples coocurrencias. De entre los métodos de razonamiento científico, el razonamiento correlacional es probablemente uno de los menos desarrollados no sólo entre los alumnos adolescentes sino también entre los adultos universitarios, estando sujeto a múltiples limitaciones y deficiencias (Pérez Echeverría, 1990). Dada la complejidad de hacer un análisis correlacional o un análisis de covariación múltiple, tendemos a confiar, por razones pragmáticas, en una regla más sencilla y superficial como es la regla de covariación simple entre un hecho y un antecedente, aunque la verdadera causa fluya muchas veces por debajo de esa superficie en la que se quedan muchos análisis causales, basadas en las reglas que acabamos de describir.

A pesar de la importancia de estas reglas, posiblemente no agoten todas las que los alumnos utilizan en su razonamiento cotidiano

para formar sus concepciones espontáneas. Sería necesaria mucha más investigación de la realizada hasta la fecha con el fin de aclarar los ámbitos de aplicación de cada una de estas reglas y las relaciones entre ellas. Esa investigación serviría en nuestra opinión para dar un mayor sentido a la gran cantidad de datos acumulados sobre las concepciones, muchas de ellas espontáneas, de los alumnos. Para promover un verdadero cambio conceptual hay que conocer los procesos causales de las concepciones de los alumnos. Según el análisis que hemos realizado, las reglas de inferencia causal determinarían en gran medida los contenidos de las ideas de los alumnos, además de condicionar su estructura. La necesidad de un cambio conceptual y metodológico en los alumnos requiere un conocimiento más detallado de los "métodos" mediante los cuales los alumnos elaboran sus concepciones, para así promover el uso alternativo de procedimientos científicos más rigurosos que vayan más allá del análisis causal proporcionado por las reglas intuitivas que acabamos de describir.

Pero, como mencionábamos unas páginas más atrás, a pesar de la importancia de las concepciones espontáneas, que constituyen una parte muy importante de las estudiadas hasta la fecha (Pozo y Carretero, 1987; Viennot, 1979), existen otros mecanismos de formación que dan lugar a otro tipo de concepciones en los alumnos. Entre ellas merecen una especial atención las concepciones inducidas por la cultura y la instrucción.

2.3.2 Concepciones inducidas: las representaciones sociales

El hecho de entender las ideas de los alumnos como constructos personales no debe hacernos olvidar que su construcción tiene lugar en un contexto social que induce o favorece cierto tipo de ideas. Los alumnos no son robinsones, ni siquiera seres rousseauianos, que construyan sus conocimientos aislados de la sociedad, sino que elaboran su conocimiento en un contexto cultural determinado. Entre las fuentes socioculturales del conocimiento del alumno cabe destacar no sólo la familia y el sistema educativo sino también la creciente influencia de los medios de comunicación en la formación de concepciones a través de la divulgación científica.

A pesar de que la mayor parte de las investigaciones sobre comprensión de la ciencia centran su análisis en el alumno individual, los

estudios en este campo no han sido ajenos a esta influencia sociocultural. Diversos autores (por ej., Hierrezuelo y Moreno, 1988; Llorens, en prensa; Llorens y de Jaime, 1987; Lynch, 1985; Solomon, 1987) destacan como una de las fuentes de las ideas de los alumnos la influencia del medio cultural, transmitida esencialmente a través del lenguaje. Muchos de los términos científicos (por ej., fuerza, energía, luz, reacción, calor, trabajo, etc.) poseen un significado bien diferente en el lenguaje cotidiano, por lo que la enseñanza de esos conceptos debería partir de un conocimiento de los significados culturalmente compartidos y transmitidos a través del lenguaje.

La mayor parte de estos estudios parten de la idea de que el lenguaje constituye "un observable de los procesos cognitivos" y de las influencias culturales (Llorens, de Jaime y Llopis, 1989) y suelen recurrir a técnicas sencillas basadas en asociación de palabras (por ej., Johnstone y Moynihan, 1985; Llorens y de Jaime, 1987) o en definición de términos (Lynch, 1985). A través de estas u otras técnicas similares se obtiene el significado que para los alumnos poseen, previamente a la instrucción, ciertos términos y se diseñan procedimientos para acercar ese significado al científicamente aceptado (por ej., Bell y Freyberg, 1985), para lo cual es preciso determinar previamente las diferencias entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje científico (Llorens, de Jaime y Llopis, 1989; Schollum y Osborne, 1985).

Sin embargo, aun cuando existen algunos análisis de las relaciones entre pensamiento y lenguaje en la comprensión de la ciencia (por ej., Llorens, en prensa), estas relaciones son bastante más complejas de lo que estos estudios parecen suponer. Difícilmente el lenguaje puede considerarse hoy un "observable de los procesos cognitivos" ni reducirse, como hacen estos estudios, a sus aspectos semánticos. Lo que en realidad parecen abordar estos trabajos es el campo semántico de las categorías "de sentido común" —o categorías naturales en la terminología de la psicología cognitiva (Rosch, 1978)— con las que los alumnos acceden al aula. Los datos obtenidos son muy relevantes, ya que muestran el diferente significado que para los alumnos tienen, en ciertos contextos, los términos usados por la ciencia. Sin embargo, es difícil explicar estos resultados por la influencia única del lenguaje. Según Llorens (en prensa), esos diversos significados serían el producto de distintas "microculturas", constituidas por conjuntos de experiencias o prácticas cotidianas, junto con las ideas transmitidas a través de la familia y los medios de comunicación social. Siguiendo el curso de este

argumento, llegaríamos a definir la fuente social de las concepciones de los alumnos no sólo a través del lenguaje sino también de otros procesos y estructuras—familia, medios de comunicación, escuela— que organizan la acción social.

Desde nuestro punto de vista, el análisis del origen social de las concepciones inducidas en los alumnos tendría más fortuna si se vinculara con los recientes estudios sobre la formación de *representaciones sociales* desarrollados desde la psicología social (por ej., Farr y Moscovici, 1984). Según esta línea de investigación, las personas interactuamos con el mundo físico y social a través de una serie de representaciones sociales, que serían esquemas o conceptos socialmente generados y compartidos, y consituirían un conocimiento ingenuo o de sentido común. Tal como señala Moscovici (1984) serían algo así como el “sentido común social”. Lo que diferenciaría al concepto de representación social de otros conceptos similares sería su vinculación con las estructuras sociales de las que procede (Ibáñez, 1988). La investigación sobre las representaciones sociales suele basarse en el uso de encuestas o en el análisis de las producciones sociales (prensa, novelas, películas, televisión, etc.) sobre un determinado área. Pero además de su difusión a través de estos canales, las representaciones sociales se construyen mediante procesos sociocognitivos específicos. Los primeros estudios de Moscovici, el impulsor de este área de investigación, estaban relacionadas precisamente con la construcción de representaciones sociales sobre la ciencia (en su caso estudió la imagen social del psicoanálisis). Las representaciones sociales tomarían ciertas palabras—conceptos del discurso científico divulgado a través de los medios, asimilándolo al “sentido común social”, con lo que desvirtuarían buena parte del significado de los conceptos científicos. Esa asimilación —que está determinada en buena medida por los procesos cognitivos individuales descritos en el apartado anterior (Páez, 1987) supondría normalmente la formación de un “esquema figurativo” o una imagen social, que permitiría objetivar los elementos seleccionados y terminarían por deformar el significado del discurso científico. De esta forma, la producción científica se convierte en producción social o si se prefiere en ideología. En palabras del propio Moscovici (1984, pág. 29): *“contrariamente a lo que se creía en el último siglo, lejos de ser el antídoto para las representaciones y las ideologías, las ciencias generan ahora de hecho esas representaciones... La ciencia se basó en un principio en el sentido común e hizo*

del sentido común algo poco común; pero ahora el sentido común es ciencia hecha común".

A pesar de que en la psicología social, el concepto de representación social es objeto de cierta controversia y de que algunos de los conceptos usados por esta teoría (como representación social, ideología, esquema figurativo) distan de estar claros (por ej., Farr y Moscovici, 1984; Ibáñez, 1988; Páez *et al.*, 1987), el análisis de las concepciones científicas de los alumnos —y de los profesores— como representaciones sociales puede ayudar a esclarecer el origen social de algunas ideas científicas. La metodología del análisis de las producciones sociales a través de la divulgación científica, escasamente desarrollada hasta la fecha, junto con el estudio del lenguaje cotidiano de los alumnos puede ayudar a profundizar en el origen cultural de esas ideas, además de dotar a la educación científica de la función de —recuperando las palabras de Moscovici— establecer la comprensión de la ciencia a partir de procesos y conceptos alejados del sentido común.

En este intento de fundamentar la naturaleza sociocultural de las concepciones de los alumnos y, en último extremo, la función social de la enseñanza de la ciencia, una referencia obligada es la obra de Vygotskii (1934) sobre las relaciones entre lenguaje y pensamiento y sobre la adquisición de conceptos científicos. En el contexto de su psicología marxista (Riviere, 1985; Wertsch, 1985), Vygotskii desarrolló una teoría de la adquisición de conceptos, que parte del supuesto, contrario a las ideas de Moscovici, de que la única manera de superar el sentido común —o los conceptos espontáneos— es precisamente la instrucción científica (véase Pozo, 1989). Según este psicólogo soviético, los conceptos espontáneos formados por los niños son en realidad "pseudoconceptos" o categorías vagamente definidas, cuyo significado es impreciso. En una de sus luminosas metáforas, Vygotskii (1934) sostiene que los niños, cuando usan sus conceptos espontáneos, "piensan mediante apellidos", aludiendo a que el significado de los conceptos espontáneos no es preciso sino que sus referentes guardan entre sí sólo un cierto "parecido familiar" (Wittgenstein, 1953). En cambio, los conceptos científicos, recibidos a través de la instrucción, tienen un significado preciso y constituyen un tipo de representación diferente.

De esta forma, el paso de los conceptos espontáneos a los científicos no es sólo el "cambio conceptual" de un concepto por otro, sino el paso de una forma de conceptualizar a otra. De hecho, según el propio Vygotskii (1934) la forma de adquirir o construir uno y otro tipo de

conceptos es diferente, ya que en la adquisición de conceptos científicos desempeñan un papel fundamental la organización conceptual y la toma de conciencia (véase también Davydov, 1972; Pozo, 1989). Estas diferentes vías en la formación de estos dos tipos de conceptos -ascendente o inductiva en el caso de los conceptos espontáneos y descendente o deductiva en el caso de los conceptos científicos- dan lugar a una interacción entre ambos, en la que la instrucción formal -como vehículo de la construcción sociocultural del conocimiento- desempeña un papel fundamental. Vygotskii resume esta interacción con una nueva metáfora: *“La influencia de los conceptos científicos sobre el desarrollo mental del niño es análoga al efecto del aprendizaje de un idioma extranjero, un proceso consciente y deliberado desde su comienzo. En la lengua nativa los aspectos primitivos del habla se adquieren antes que los complejos. . . En el aprendizaje de un idioma extranjero las formas superiores se desarrollan antes que las espontáneas y fluidas. . . Para el niño los puntos fuertes de un idioma extranjero son los débiles en el propio, y viceversa”*.

Fiel a su idea de que los procesos cognitivos son un producto de la vida social, reflejada en su ley de la doble formación (Vygotskii, 1978), según la cual todos los procesos cognitivos se construyen primero interpersonalmente para luego interiorizarse, y fiel a su creencia de que la “conciencia es contacto social con uno mismo”, Vygotskii sitúa al factor sociocultural no sólo como causa de las ideas de los alumnos sino sobre todo como la única vía posible para su superación. Aunque con ello incurra en un cierto “optimismo social” (Piaget, 1962), no refrendado en los actuales estudios sobre la comprensión de la ciencia por los alumnos, que muestran que los conceptos espontáneos de los alumnos son más resistentes al cambio de lo que la teoría vygotskiana suponía, la aportación de Vygotskii puede ser un punto de referencia útil para el estudio del origen social de las ideas de los alumnos. Además, los estudios actuales sobre la formación de categorías naturales o conceptos espontáneos avalan, no sólo entre los niños sino también entre los adultos (por ej., Neisser, 1987; Rosch y Lloyd, 1978; Scholnick, 1983), la idea vygotskiana de que la enseñanza de la ciencia implica un cambio en la forma de comprender o conceptualizar la realidad y no sólo un cambio de un concepto por otro más elaborado, por lo que el cambio conceptual debería entenderse de una manera más global o integral. En los próximos apartados volveremos sobre este aspecto.

Uno de los atractivos educativos de la teoría vygotskiana, frente a otras teorías psicológicas, es sin duda la importancia que concede a la enseñanza como verdadero motor del progreso intelectual a través del aprendizaje (para un análisis más profundo de estas implicaciones véanse Carretero, 1986; Pozo, 1989; Rivière, 1987; Siguán, 1987). Frente al sujeto un tanto rousseauiano o autosuficiente de Piaget y frente a ciertas posiciones "progresistas" que resaltan la función conservadora del sistema educativo, Vygotskii defiende que la instrucción formal e informal son las únicas vías posibles para acceder al conocimiento científico y en último extremo para interiorizar la cultura, lo cual no supone la destrucción de un yo original, personal e individual, sino muy al contrario, la propia construcción de la personalidad y de la individualidad en un contexto sociocultural. Sin duda, a pesar de todas las críticas que recibe y de las limitaciones a que está sometida, la enseñanza de la ciencia proporciona una buena cantidad de conocimientos e ideas a los alumnos. Estas concepciones inducidas por el sistema educativo son, sin embargo, asimiladas por los alumnos a sus concepciones preexistentes, produciéndose diversos tipos de interacción entre el nuevo conocimiento y las concepciones previas (véase Gilbert, Osborne y Fensham, 1982). Una de las vías más útiles para establecer esa conexión entre lo que ya se sabe y lo nuevo es la formación de analogías.

2.3.3 Concepciones análogas: la instrucción a través de modelos

Se discute a veces si los alumnos, o las personas en general, disponemos de concepciones previas sobre cualquier fenómeno o si, por el contrario, hay algunos dominios en los que las personas carecemos de ideas, por lo que podríamos aprender en ellos siguiendo el modelo de *tabula rasa*. Desde el punto de vista de la psicología cognitiva, es imposible comprender algo sin activar alguna idea o esquema en la que asimilar la nueva información, pero ello no significa que dispongamos de ideas específicas para todos los dominios. Lo que solemos hacer ante un dominio nuevo es activar, por analogía o similitud, un esquema o una idea correspondiente a otro dominio que nos sirve para comprender la nueva situación. Aunque no se haya estudiado aún de un modo exhaustivo, hay ya un cierto número de trabajos recientes sobre la forma en que las personas formamos este tipo de *analogías* (por ej., de la Fuente

et al., 1989; Holland *et al.*, 1986; Keane, 1988; Sierra, 1986; Sierra y Froufe, 1987) e incluso unos pocos trabajos sobre el uso de las analogías en la comprensión de conceptos científicos (Acevedo, 1990; Gentner y Gentner, 1983; Sierra y Zaccagnini, 1989). Según Holland *et al.* (1986, pág. 287), *“la utilidad de una analogía depende del reconocimiento y explotación de alguna similitud significativa entre la situación presente y la fuente de la analogía. Las preguntas fundamentales con respecto a la analogía se refieren de hecho a cómo puede reconocerse esa similitud significativa”*. Aparentemente en los estudios sobre formación de analogías se observa que las personas con poco conocimiento en un área tienden a buscar esa similitud en un nivel más superficial, ligado a los aspectos perceptivos o inmediatos de la situación, que estructural o profundo. Estudios sobre categorización de problemas científicos por expertos y novatos muestran que los novatos utilizan criterios superficiales para la categorización mientras que los expertos utilizan criterios conceptuales, buscando la similitud entre las tareas no en sus rasgos perceptivos sino en los conceptos que requieren para su solución (Chi, Glaser y Rees, 1982). Un reciente estudio de Holyoak y Koh (1987) sugiere que las analogías basadas en similitudes superficiales –supuestamente las más usadas de modo espontáneo por los alumnos– tienen menor capacidad de generalización que las analogías estructurales o conceptuales, por lo que el uso de analogías espontáneas por los alumnos puede tener un efecto limitado sobre su comprensión de la ciencia.

Uno de los recursos didácticos para el cambio conceptual podría ser de hecho el aprovechamiento de la instrucción a través de modelos y analogías. Este uso tendría una doble vertiente (Pozo, 1990b): proporcionar a los alumnos modelos o analogías ya formadas para la comprensión de dominios nuevos y formarles en la generación espontánea de analogías. En el primer caso –el más común en la didáctica y en la investigación sobre enseñanza de la ciencia (Acevedo, 1990; Sierra y Zaccagnini, 1989)– se trataría de buscar un esquema o idea ya presente en la mente del alumno –por ejemplo, el modelo orbital de los astros– para aplicarlo, de modo analógico, en un nuevo dominio –la estructura del átomo. En este caso es fundamental destacar no sólo la similitud sino también las diferencias, para evitar una transposición literal del modelo. De hecho, este uso didáctico de los modelos suele acarrear a medio plazo errores conceptuales en los alumnos debido a la dificultad de superar la propia metáfora que supone el modelo.

El segundo uso didáctico de la analogía es más complejo y, aunque existe una buena tradición de estudios de laboratorio sobre la formación espontánea de analogías (por ej., Holland *et al.*, 1986; Sierra, 1986), apenas hay un desarrollo didáctico de los mismos. Se trataría en este caso no tanto de proporcionar analogías útiles a los alumnos sino de ayudarles a formarlas por sí mismos, de tal forma que la analogía se convierta en una estrategia de aprendizaje. Para ello es preciso que el alumno active, de entre sus conocimientos, una idea o concepción que le permita captar los rasgos esenciales de una situación nueva. De hecho, esto es lo que hacen habitualmente los alumnos cuando quieren entender algo, pero lo hacen de un modo no deliberado y basándose muchas veces en rasgos irrelevantes de la situación. Las analogías como estrategia de aprendizaje deberían basarse en modelos generales de amplia aplicación a dominios nuevos. Pero para ello sería preciso que los alumnos dispusiesen entre sus conocimientos científicos de algunos modelos generales que pudieran ser usados analógicamente en dominios nuevos. Ello nos conduce al problema de la organización de las concepciones de los alumnos. ¿Se trata de ideas aisladas y por tanto difícilmente generalizables o de conceptos con una cierta generalidad? La búsqueda de similitudes estructurales y no superficiales sólo es posible a partir de estructuras conceptuales previas, a cuyo análisis está dedicado el siguiente apartado.

2.4 LAS TEORIAS IMPLICITAS; o cómo se organizan las ideas en la mente de los alumnos

En el capítulo anterior vimos cómo las posiciones piagetiana y de las concepciones alternativas, aun compartiendo una visión constructivista del conocimiento y de su adquisición, diferían sustancialmente en sus presupuestos con respecto a la forma en que están organizados los conocimientos en la mente de los alumnos. Mientras Piaget, fiel a su concepción estructuralista, suponía que las ideas o conceptos construidos por los adolescentes dependen de estructuras lógicas más generales que producen un grado notable de homogeneidad en las ideas mantenidas por los alumnos en diversos dominios o situaciones,

el enfoque de las concepciones alternativas es bastante más elusivo al respecto, pero su propia tradición investigadora muestra que se parte del supuesto de que se trata de ideas aisladas o escasamente conectadas entre sí. Dado que a partir de la concepción constructivista del aprendizaje, asumida en el D.C.B., la organización de los conocimientos en la mente de los alumnos es un factor decisivo para establecer la propia organización y secuenciación de los contenidos en el currículo, estas dos interpretaciones contrapuestas del constructivismo conducen a propuestas curriculares bien diferenciadas, según hemos señalado en el capítulo anterior.

Frente a estas dos posiciones enfrentadas está comenzando a surgir una interpretación o propuesta intermedia, que intenta encontrar un compromiso entre ambas. En su momento (en el apartado 1.3.4), vimos que los estudios con respecto al grado de homogeneidad o heterogeneidad de los conocimientos científicos de los alumnos realizados desde la perspectiva del pensamiento formal no han podido corroborar que éste constituya la estructura de conjunto predicha por Piaget. Pero si los conocimientos científicos de los alumnos no se comportan como Fuenteovejuna, todos a una, tampoco son totalmente dispersos o inconexos. Esos mismos estudios han venido a mostrar que aunque la noción de estadio piagetiano sea hoy poco defendible existe en cambio una cierta coherencia en las ideas y habilidades científicas de los adolescentes (por ej., Demetriou, Efklides y Gustafsson, en prensa; Lawson, 1985; López Rupérez y Palacios, 1988; Shayer & Adey, 1981).

Este nivel de coherencia en las ideas de los alumnos, aunque insuficiente para mantener la idea de los estadios, es sin embargo suficiente para requerir un análisis teórico y experimental más estructurado del que vienen realizando los estudios sobre las concepciones alternativas. Como señalábamos en su momento, estos estudios se caracterizan por su carácter descriptivo y porque su metodología —basada en la aplicación de una o unas pocas tareas a grupos o clases de alumnos, sin apenas control experimental— no permite el análisis sino en términos de ideas aisladas. Sin embargo, los escasos estudios que han analizado la coherencia de las ideas de los alumnos en un dominio dado, sea físico (por ej., Engel Clough y Driver, 1986; Oliva y Rosado, 1990; Pozo, 1987a) o biológico (Arnay, 1988; Jiménez Aleixandre, 1990), han encontrado niveles variables, pero significativos, de relación entre las ideas de los alumnos dentro de un mismo dominio. El estudio de estas relaciones y

sus implicaciones curriculares requiere no sólo una nueva metodología –basada tanto en el análisis correlacional y factorial como en el tratamiento experimental mediante manipulación de variables independientes– sino también nuevos planteamientos teóricos que se alejen tanto de la supuesta uniformidad de las ideas derivada de la teoría piagetiana como de la dispersión y la falta de coherencia derivada de su estudio como concepciones alternativas. Ese nuevo enfoque teórico parece reclamar un nivel intermedio de especificidad/generalidad, ya que, como señala Case (en prensa), “*ofrece una posible solución al conflicto entre las teorías de sistema general y las teorías modulares (o de conocimientos específicos) de la era pospiagetiana. La conclusión que extraemos es que podemos correr el peligro de “tirar el bebé con el agua” si abandonamos la clásica posición estructuralista por completo*”. Para evitar arrojar el bebé con el agua, Case propone analizar la comprensión de los alumnos y el propio desarrollo cognitivo en términos de *estructuras conceptuales generales*. Por nuestra parte, basándonos en las aportaciones nuestras y de otros autores, propondremos analizar las ideas de los alumnos sobre la ciencia en términos de sus *teorías implícitas* sobre los fenómenos científicos. Dado que el uso del término “teorías” puede resultar equívoco en este contexto, expondremos a continuación algunas de las características principales de las teorías implícitas de los alumnos, por oposición a las teorías científicamente aceptadas que se les intenta enseñar en el aula.

2.4.1 Características de las teorías implícitas

En los últimos años diversos autores y desde perspectivas distintas han venido manteniendo que las personas utilizamos ciertas *teorías personales*, generalmente implícitas y de sentido común, para interpretar lo que sucede a nuestro alrededor, sea el aprendizaje de los alumnos (Johnson, 1987), la caída de los graves (Pozo, 1987a), la crianza de los hijos (Triana y Rodrigo, 1985), los testimonios judiciales (Mira y Diges, 1990), la desgravación fiscal y el paro (Furnham, 1988) o el equilibrio de unos bloques sobre un pivote (Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975). Estas teorías parecen ser características de los sujetos novatos o profanos en un área y difieren de las teorías mantenidas por los expertos –que en el caso de la ciencia serían las teorías científicas– no sólo en su contenido factual sino también en su organización y en su propia

naturaleza. De esta forma tanto el desarrollo cognitivo (por ej., Carey, 1985, 1988) como el aprendizaje científico (Pozo, 1987a, 1989) o profesional (Calderhead, 1987) pueden concebirse al menos en parte como un proceso de cambio de las teorías personales implícitas por otras teorías explícitas y científicas.

Existen ya unas cuantas fuentes en las que se analizan las diferencias entre uno y otro tipo de teorías (por ej., Claxton, 1984; Furnham, 1988; Pérez Echeverría, 1989b; Pozo, 1987a; Rodrigo, 1985). Aunque la relación entre ambos tipos de teorías sería más la de un continuo que la de una dicotomía —constituyendo el paso de novato a experto un viaje a través de esa dimensión— a efectos expositivos mantendremos que se trata de dos tipos de teorías diferenciadas, si bien en la práctica pueden coexistir en un mismo sujeto o pueden existir teorías que compartan rasgos de ambas, dependiendo del nivel de pericia o expertise de la persona que las sostenga.

Antes de comenzar con las diferencias entre las teorías implícitas y las teorías científicas, parece conveniente resaltar sus similitudes, ya que ello justifica el uso del término “teoría” en este contexto. Según Rodrigo (1985, págs. 146–147) *“tanto las teorías científicas como las intuitivas están constituidas por un conjunto de conceptos y de eslabones que establecen relaciones entre estos. Asimismo, ambas comparten funciones interpretativas; una vez reunidos los datos se elaboran explicaciones causales basadas en los postulados teóricos; o bien permiten establecer predicciones sobre sucesos futuros; por último incluyen “rutinas operativas” sobre el modo correcto de actuar”*. Ambos tipos de teorías comparten por tanto el carácter de estructuras conceptuales organizadas con una finalidad tanto predictiva como explicativa. Se justifica el hablar de teorías implícitas en los alumnos en la medida en que sus concepciones estén organizadas de determinadas formas y se hagan efectivas para dirigir la acción.

Pero más allá de esas semejanzas son numerosas las diferencias. La tabla 2.1. resume, sin ánimo de exhaustividad, algunas de esas diferencias, a partir de los análisis de Claxton (1984), Furnham (1988); Pérez Echeverría (1989b); Pozo (1987a), Pozo y Carretero (1987) y Rodrigo (1985) entre otros. La contraposición entre las teorías personales y las teorías científicas nos permitirá extraer algunos de los rasgos más característicos de las ideas de los alumnos sobre la ciencia, entendidas como una parte componente de sus teorías implícitas.

TABLA 2.1

Algunas diferencias entre las teorías personales y las teorías científicas

Teorías personales	Teorías científicas
a) son implícitas	a) son explícitas
b) son incoherentes	b) son coherentes
c) son específicas	c) son generales
d) son inductivas (verifican)	d) son deductivas (falsan)
e) se basan en una causalidad lineal y simple	e) se basan en una causalidad múltiple y compleja
f) buscan la utilidad	f) buscan la "verdad"

Aunque tanto las teorías personales como las científicas estarían compuestas por conceptos organizados jerárquicamente, existirían algunas diferencias significativas entre los conceptos científicos y los conceptos personales. Mientras los conceptos científicos atienden a la estructura lógica de una clase —de forma que constituyen una definición precisa y constante para una clase de objetos con independencia de otros parámetros— los conceptos personales, o "naturales" según la terminología al uso en psicología cognitiva, tienden a ser conceptos vagos y difusos, cuyo significado no siempre es el mismo (Rosch, 1978; Scholnick, 1983). En otras palabras, los conceptos científicos establecen ciertos rasgos necesarios y suficientes para la categorización de un objeto como, pongamos por caso, un mamífero o un ser vivo. En cambio, las categorías naturales que las personas formamos a través de nuestra actividad espontánea y de la instrucción informal están formadas por objetos que según la expresión de Wittgenstein (1953), comparten entre sí un cierto "parecido familiar", de tal forma que no es posible encontrar ningún rasgo esencial común a los objetos que pertenecen a la mayor parte de nuestras categorías cotidianas (¿qué tienen en común y al mismo tiempo de característico, por ejemplo, todas las mesas, todos los muebles o todas las plantas?). Con su característico estilo metafórico, ya

Vygotskii (1934) se refería a estas categorías naturales –o pseudoconceptos– como un “*pensamiento mediante apellidos*”, que establece un cierto parecido familiar entre las cosas pero no define ningún rasgo esencial del concepto.

Las ideas de los alumnos sobre la ciencia, organizadas en forma de teorías implícitas, no serían por tanto de la misma naturaleza conceptual que las ideas de los científicos. Diversos autores (por ej., Llorens, en prensa, en el caso de la química) han subrayado la inestabilidad del significado de las concepciones alternativas de un contexto a otro. Para el alumno, a diferencia de lo que sucede para el científico, los términos energía, fuerza o velocidad tienen un significado impreciso y variable, que no son capaces de definir, de la misma forma que para todos nosotros, los términos mesa, armario, mueble o juego –por no decir otros como libertad, igualdad o fraternidad– son casi imposibles de definir, aunque de una manera aproximada seamos capaces de aplicarlos a muy diversas situaciones.

De esta forma, el paso de las concepciones alternativas a los conceptos científicos no supone sólo el cambio del contenido factual de los conceptos, sino también de la forma de conceptualizar (Pozo, 1989). Según Vygotskii (1934; Davydov, 1972) este paso sería posible sólo gracias a la instrucción, que propocionaría no sólo nuevos conceptos sino una nueva forma de entender el mundo, apoyada en la toma de conciencia da la propia actividad mental.

Esta diferencia en la propia naturaleza de los conceptos está ligada a otras importantes diferencias. Así, diversos autores (por ej., Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Furnham, 1988; Pozo y Carretero, 1987) han subrayado que, frente a la búsqueda de coherencia por parte de los científicos, las ideas de los alumnos son aparentemente incoherentes, variando su significado de una situación a otra y de una tarea a la siguiente. Aunque, como hemos señalado en varias ocasiones, el nivel de coherencia de las ideas de los alumnos está aún por determinar, sí parece cierto que el propio carácter difuso o “probabilístico” de las categorías naturales hace que éstos aparezcan, a ojos de un observador externo, como incoherentes. Según Furnham (1988) las ideas que componen las teorías implícitas son tanto incoherentes –en el sentido de que no se aplican por igual en diversas situaciones– como inconsistentes –ya que en ocasiones diversas ideas que componen una misma teoría son incompatibles entre sí.

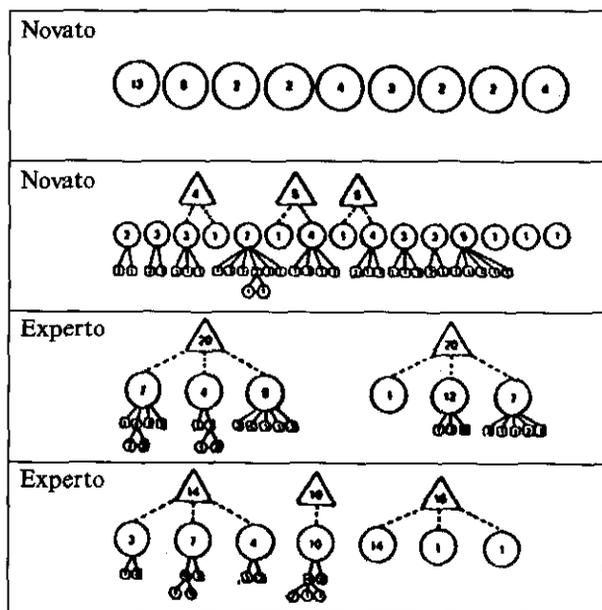
Esta falta de consistencia o coherencia de las teorías implícitas se deriva de su propia naturaleza, de su carácter *implícito*. Mientras que las teorías científicas deben por necesidad explicitarse en un lenguaje o sistema de representación compartido por una comunidad, lo que les obliga a ser tanto coherentes como consistentes, buena parte de las teorías implícitas son incomunicables, en el sentido de que están constituidas por presupuestos de carácter general (Richardson, 1988) sobre relaciones causales, pero sin que el sujeto que las utiliza sea consciente de esas presuposiciones. Las teorías implícitas suelen subyacer a la acción, manifestándose sólo a través de ella y resultando en muchos casos incomunicables.

Este carácter implícito de las teorías personales conlleva una dificultad metodológica adicional en la investigación, ya que no basta con preguntar a un sujeto sobre un tema para conocer sus teorías implícitas, dado que es muy probable que el propio sujeto las ignore. Cuando las personas hablan y especulan sobre lo social nos comunican su ideología, que no necesariamente coincide con las representaciones implícitas que organizan su acción (Ibáñez, 1988). Un maestro que nos habla sobre su forma de dar clase (por ej, Villar, 1988) o un paciente que expone a un psicólogo sus problemas y angustias (por ej., Mahoney y Freeman, 1985) pueden ignorar sus "verdaderas" representaciones implícitas a su acción. Como señalaban Nisbett y Wilson (1977) en un célebre artículo sobre el uso experimental de la introspección, los sujetos a veces dicen más de lo que saben y en otras ocasiones menos. Ello comporta dificultades metodológicas que no siempre se tienen en cuenta en los estudios sobre las concepciones alternativas de los alumnos sobre la ciencia, en los que se le suele conceder la misma fiabilidad a datos procedentes de fuentes claramente distintas.

Además, este carácter implícito de las teorías de los alumnos conecta con la necesidad antes expresada de fomentar la toma de conciencia con respecto a sus propias ideas como uno de los requisitos del llamado "cambio conceptual". La frase de Vygotskii según la cual "*la conciencia es contacto social con uno mismo*" cobra aquí todo su significado. Sólo mediante la toma de conciencia de las propias teorías o modelos implícitos que solemos usar para interpretar la realidad podremos llegar a superar éstos, y esa toma de conciencia es uno de los productos de la instrucción y por tanto de la vida social. Ante situaciones nuevas, las personas, de modo no deliberado y por tanto no consciente, solemos utilizar esquemas, modelos o teorías que nos han sido útiles

con anterioridad. En la activación de esas teorías actúan una serie de procesos psicológicos que el sujeto por supuesto desconoce. Dado que, como el personaje de Molière, todos nosotros hablamos en prosa sin saberlo, sólo un desarrollo del metaconocimiento —o conocimiento sobre los propios conocimientos— permitirá al alumno controlar esos procesos que normalmente se activan de modo automático.

FIGURA 2.1



Representación gráfica de la clasificación realizada por dos novatos y dos expertos ante los 40 problemas presentados por Chi, Glaser y Rees (1982). Los círculos representan las categorías inicialmente establecidas por los sujetos. Cuando después se les pedía que estableciesen nuevas categorías a partir de esas, los sujetos discriminaban categorías subordinadas a las anteriores (cuadrados y hexágonos) pero también formaban categorías supraordinadas (triángulos). En todos los casos la cifra que hay dentro de la figura geométrica indica el número de problemas —sobre el total de 40— que el sujeto incluía en esa categoría.

Junto a las características que venimos señalando, existe otra importante diferencia entre las teorías personales y las teorías científicas. Si, como señalaba Rodrigo (1985) en la frase antes citada, ambas están

compuestas por conceptos organizados entre sí, el tipo de organización que adoptan en cada caso parece diferir. Los estudios que comparan la organización conceptual de expertos y novatos en un determinado área, sea de ciencias fisiconaturales (por ej., Chi, Glaser y Rees, 1982; Pozo, 1987a;) o de ciencias sociales (por ej., Pozo y Carretero, 1989; Voss, 1986; Voss, Tyler y Yengo, 1984) muestran que difiere significativamente.

Como muestra la figura 2.1. los novatos suelen tener un conocimiento con escasa organización jerárquica, mientras que los expertos subordinan todas sus ideas a unas pocas leyes o principios generales. Además, las ideas más elevadas dentro de la teoría del novato suelen ser ideas subordinadas en la teoría científica mantenida por el experto. Ello conduce a que las teorías implícitas estén con cierta frecuencia compuestas de ideas poco conectadas entre sí, como muy bien refleja la figura. En palabras de Flavell (1985, pág. 89), *"en la red conceptual almacenada por el experto hay múltiples rutas de cada uno de los conceptos a los demás; podemos decir que cada concepto tiene en el diccionario mental del experto múltiples referencias cruzadas. Esta mayor densidad de conexiones entre conceptos...significa a su vez que la probabilidad de que cualquier concepto dado evoque otros conceptos relacionados es mayor"*.

Una vez más, el conocimiento experto se caracteriza por una mayor reflexión y autoconocimiento. El científico no reflexiona tanto sobre los objetos como sobre sus teorías sobre los objetos. El científico no busca tanto —o al menos sólo— que los objetos se comporten de ciertas formas como perfeccionar sus conocimientos. Esta es otra diferencia entre las teorías personales y las teorías científicas.

Con todo lo anteriormente dicho podría parecer que las teorías implícitas son gravemente erróneas y por tanto inútiles o ineficaces. Sin embargo, no es así. En tanto se mantienen, las teorías implícitas suelen generar predicciones con bastante éxito en la vida cotidiana. Las personas levantan objetos, lanzan balones a canasta, andan en bicicleta o caminan a diario con un cierto nivel de éxito sin conocer las leyes físicas que gobiernan cada uno de sus movimientos. De hecho, cuando se investigan las teorías implícitas de la gente sobre el movimiento de los objetos y la gravedad (por ej., Pozo, 1987b) se descubre que éstas son científicamente incorrectas.

Esta aparente paradoja se resuelve cuando pensamos que las teorías personales y las teorías científicas buscan metas distintas. Como

señala Claxton (1984) las teorías personales deben ser útiles; las teorías científicas deben ser ciertas. Esta diferencia de criterios (utilidad versus verdad) esta una vez más conectada con el carácter implícito o explícito de las representaciones componentes. Cuando una madre premia o castiga a su hijo de acuerdo con lo que podríamos llamar su teoría implícita del refuerzo, no le interesa si esa teoría es cierta o no; lo único que pretende es conseguir tener éxito en su aplicación a una situación concreta. En cambio, el psicólogo conductista que investiga los efectos del castigo pretende descubrir leyes o principios generales de la conducta que puedan aplicarse más allá de contextos específicos. Otro tanto sucede con el alumno que está aprendiendo ciencias. Sus concepciones alternativas tienen un aquí y ahora, se refieren a hechos concretos; las leyes científicas que se les pretenden enseñar son no sólo posibles –en vez de reales– sino además necesarias. Utilizando una distinción piagetiana central a su teoría funcional de la equilibración (Piaget, 1974; también Moreno, 1989; Pozo, 1989), las teorías implícitas buscan el éxito mientras que las teorías científicas intentan comprender.

Esta distinta orientación –hacia fuera en las teorías personales y hacia dentro en las científicas– ya fue subrayada por Vygotskii (1934) y constituye uno de los rasgos más importantes que hay que tener en cuenta para fomentar el aprendizaje significativo o por reestructuración necesario para la comprensión de la ciencia (Pozo, 1989). Además, se conecta con otra importante diferencia. Según Furnham (1988; también Pérez Echeverría, 1989b), las teorías científicas tienden a ser deductivas y falsacionistas mientras que las teorías personales son más bien inductivas y verificacionistas. Aunque esta diferencia no sea, una vez más, dicotómica, dada la resistencia a la falsación existente en la propia labor científica (Kuhn, 1971; Lakatos, 1978), puede mantenerse como una tendencia.

Dado el distinto objetivo de las teorías personales y las teorías científicas el papel de los datos contrarios a ellas es muy diferente en uno u otro caso. La aparición de un solo dato contrario muestra la *falsedad* de una teoría científica, pero reduce muy poco la *utilidad* de una teoría personal que se ha aplicado con eficacia en muchas ocasiones anteriores. Como ha mostrado Carretero (1984) los adolescentes que encuentran un dato contrario a sus teorías recurren a veces a la idea popular según la cual “la excepción confirma la regla”, manteniendo intacta su teoría a pesar de los datos contrarios. En cambio, los científicos, aun cuando conserven sus teorías a pesar de acumular datos

contrarios, deben recurrir al "cinturón protector" incorporando ideas a su heurística positiva para dar cuenta de los datos contrarios (Lakatos, 1978). Dado que estos cambios introducidos en el cinturón protector de las teorías son posiblemente una condición necesaria para la posterior reestructuración de las teorías (Pozo, 1989), las contradicciones empíricas tienen un mayor efecto sobre las teorías científicas, más sensibles a ellas, que sobre las teorías personales.

Pero además de todas las diferencias reseñadas, que no agotan las posibles, las elaboraciones teóricas de los científicos difieren de las teorías implícitas personales en la complejidad de los conceptos y leyes enunciadas. Esta ha sido de hecho la principal vía de comparación entre las concepciones alternativas y los conceptos científicos: la diferencia en su contenido factual, que en el mejor de los casos se ha apoyado en un análisis comparativo con la Historia de la Ciencia que recupera el viejo esfuerzo piagetiano por construir una Epistemología Genética. De hecho, a pesar de las importantes diferencias existentes entre la construcción del conocimiento científico por parte de los alumnos y de los científicos (por ej., Strauss, 1988), la Historia y la Epistemología de la Ciencia proporciona numerosas sugerencias para el análisis no sólo de las teorías implícitas de los alumnos sino también de su transformación progresiva en teorías científicas. Sin embargo, el recurso a la Historia sólo puede hacerse desde la perspectiva de cada una de las disciplinas científicas analizadas, por lo que volvemos a la fragmentación de los conocimientos de los alumnos, si analizamos el contenido de sus teorías exclusivamente comparandolas con la historia de la disciplina correspondiente.

Por consiguiente, es importante buscar criterios generales que diferencien el contenido factual de las teorías personales del de las teorías científicas. Con ello volveríamos al apartado 2.3. anterior, en el que analizamos los orígenes de las teorías de los alumnos, que tienen una indudable influencia sobre su contenido. Pero además de esa influencia, desde nuestro punto de vista pueden identificarse ciertos rasgos estructurales comunes a diversas teorías implícitas mantenidas por los alumnos, que les diferenciarían de las teorías científicas. Esos rasgos estructurales actuarían como verdaderos obstáculos epistemológicos que deben ser superados en cada dominio concreto y cuya superación caracteriza precisamente a la mayor parte de las teorías científicas. Estas restricciones estructurales que pueden identificarse en algunas de las teorías implícitas de los alumnos conectarían con un concepto central

en la concepción piagetiana sobre el pensamiento formal, que ya fue analizado en el apartado 1.1.2. de este trabajo: los esquemas operatorios formales.

2.4.2 Restricciones estructurales en las teorías implícitas o la vuelta a los esquemas operatorios formales

Aun cuando pueda discutirse, en relación con los esquemas operatorios formales enunciados por Inhelder y Piaget (1955), si son todos los que están y, más aún, si están todos los que son, un análisis del contenido de las teorías implícitas de los alumnos en diversos dominios científicos, muestra que en muchos casos estas se caracterizan por la dificultad de superar algunas dificultades conceptuales que requerirían el uso de alguno o algunos esquemas operatorios formales, similares a los formulados por Piaget, cuando no idénticos. Por ello, postulamos que en el paso de sus teorías personales implícitas a las teorías científicas los alumnos deben aprender a utilizar ciertos esquemas generales en el análisis de las relaciones causales, sin los cuales la teoría científica no podrá ser correctamente comprendida (Pozo, 1988c). Estos esquemas tienen una cierta generalidad, si bien, como los propios Inhelder y Piaget (1955) apuntaban, probablemente los sujetos deban aprender a aplicarlos en cada nuevo dominio.

TABLA 2.2

Esquemas formales presentes en las teorías científicas y restricciones estructurales puestas a ellas

Restricciones Estructurales	Esquemas Formales
(Teorías implícitas)	(Teorías científicas)
Causalidad lineal y simple. En un sólo sentido (agente → objeto)	Coordinación de sistemas de referencia. Compensación multiplicativa
No cuantificación o estrategias de cuantificación erróneas	Proporción Probabilidad Correlación
Transformación sin conservación	Conservaciones no observables. Sistemas en equilibrio

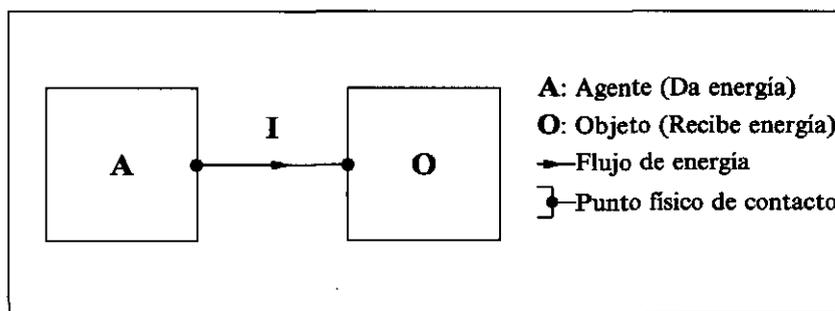
Sin ánimo de agotar los posibles esquemas, la tabla 2.2. presenta, a partir de Inhelder y Piaget (1955), tres características de las concepciones alternativas usualmente identificadas en los alumnos, que se contraponen al uso de los esquemas operatorios formales. Dicho de otra manera, el alumno persistirá en su concepción alternativa a menos que logre analizar la tarea mediante un esquema de relación causal más complejo, que tiene las características del pensamiento formal piagetiano. A continuación presentamos de un modo breve, y con algunos ejemplos, esos tres grandes grupos de dificultades.

2.4.2.1 Causalidad lineal vs. interacción de sistemas

En primer lugar, como ya ha señalado Andersson (1986a) los alumnos tienden a recurrir a un esquema causal muy simple para explicar los acontecimientos según el cual la relación entre la causa y el efecto es lineal y en un solo sentido (véase figura 2.2). Sin embargo, la mayor parte de las teorías científicas requieren entender las situaciones como una interacción de sistemas en las que como mínimo se produce una de las dos situaciones siguientes:

FIGURA 2.2

Esquema causal simple, según Andersson (1986)



- a) La relación causa/efecto no es en un solo sentido, sino que implica una relación recíproca. No es que un agente actúe sobre un objeto modificándolo, como en la figura 2.2., sino que dos sistemas interactúan modificándose mutuamente. Así, una reacción química

—como la oxidación o combustión— sólo puede entenderse como una interacción entre sistemas y no como una simple relación lineal en que una causa —por ej., el oxígeno u otro oxidante en la oxidación— actúa sobre una sustancia, que es como la entienden los alumnos (Andersson, 1986; véase más adelante el capítulo 6). Igualmente la interpretación de un circuito eléctrico no puede ser secuencial sino que debe implicar la interacción entre sistemas (batería/resistencias).

- b) La relación implica no sólo una causa sino la interacción entre varias causas que se coordinan para producir un efecto dado. Así, el volumen de un gas dependerá de la relación entre presión y temperatura, o, tomando un ejemplo del mundo social cotidiano, la inflación es un hecho causado por la interacción de numerosas causas y no sólo de un factor aislado como creen muchas personas, adultos incluidos (Furnham, 1988). La tendencia a simplificar las situaciones, un rasgo usual en nuestro pensamiento cotidiano, dificulta el tener en cuenta la interacción entre variables. Además esa relación puede tomar a veces la forma de una compensación multiplicativa, en la que dos factores se compensan entre sí para producir un efecto constante (por ejemplo, peso y distancia en el equilibrio de una balanza). Estas compensaciones adoptan la forma habitual de una proporción inversa, implicando por tanto el uso de un esquema cuantitativo, característico del pensamiento formal.

2.4.2.2 Relaciones cualitativas vs. esquemas de cuantificación

En nuestra vida cotidiana tendemos a establecer relaciones cualitativas entre los hechos (por ejemplo, los días que amanecen grises suelen acabar con lluvia) que escasamente somos capaces de cuantificar (¿cuál es la probabilidad de que esos días llueva?). Sin embargo, la ciencia se caracteriza por el uso de operaciones cuantitativas precisas, que determinan no sólo si existe una relación entre dois hechos sino también en qué cantidad existe. Esta necesidad de cuantificar —que se manifiesta ya en el uso de operaciones de medida características del periodo operacional concreto— se traduce, en el caso del pensamiento científico, en el uso combinado de tres esquemas de cuantificación, cu-

yo uso dista mucho de ser general entre los adolescentes e incluso los adultos universitarios (Pérez Echeverría, 1990):

- a) La proporción: la mayor parte de los conceptos científicos implican, como decíamos anteriormente, una relación entre dos conceptos. Pero en el caso de las ciencias físico-naturales esa relación suele adoptar además la forma de una proporción. Desde conceptos como velocidad o densidad a otros más complejos como las leyes newtonianas o casi todas las leyes ponderales de la Química, por no decir la Economía, la Estadística y la Ingeniería, es difícil hallar un dominio científico que no requiera el uso de leyes proporcionales. Sin embargo, las investigaciones muestran que ante tareas que requieren un cálculo proporcional los alumnos, universitarios incluidos, tienden a utilizar estrategias simplificadoras, que se basan en análisis cualitativos o en reglas más simples, como la regla aditiva o las correspondencia (Pérez Echeverría, 1990; Pérez Echeverría, Carretero y Pozo, 1986, o también, el apartado 3.3. de este libro).
- b) La probabilidad: aunque la mayor parte de la ciencia que se les enseña a los alumnos o corresponde a la ciencia del siglo XX y por tanto es más bien determinística, existen numerosas nociones científicas que requieren la comprensión de la probabilidad y el azar. La teoría cinética de los gases, los conceptos de mutación genética o toda la genética de poblaciones difícilmente pueden entenderse sin comprender lo que es el azar y sin ser capaz de calcular probabilidades. Y sin embargo, nuevamente, los estudios muestran que el azar y la probabilidad están lejos de ser nociones intuitivas y que su comprensión es limitada entre los adolescentes y adultos (por ej., Pérez Echeverría, 1990; Tversky y Kahneman, 1974; Vázquez, 1985). Desde un punto de vista operatorio, el cálculo de probabilidades estaría ligado a la combinatoria y al razonamiento proporcional (Piaget e Inhelder, 1951). Sin embargo, parece resultar más difícil la noción de probabilidad que la de proporción (Pérez Echeverría, 1990).
- c) La correlación: se trata de un esquema útil para el análisis de datos probabilísticos, muy utilizado en las ciencias sociales y en el análisis de series numéricas en las ciencias fisiconaturales. Es sin duda el menos intuitivo y el más difícil de emplear, incluso por adultos especializados (Pérez Echeverría, 1989c), aunque se

dé la paradoja de ser a la vez empleado de modo no consciente como un mecanismo básico para el cómputo de contingencias en el aprendizaje asociativo (Pozo, 1989; Tarry, 1985).

2.4.2.3 Cambio y transformación vs. conservación y equilibrio

Una última restricción estructural en las teorías implícitas de los alumnos, muy vinculada a las anteriores, es sin duda la tendencia ya comentada del pensamiento causal cotidiano, consistente en centrarse en el cambio más que en los estados. En la terminología empleada por el propio Piaget, diríamos que las teorías implícitas de los alumnos se centran en lo que se transforma pero no en lo que se conserva. Sin embargo, la mayor parte de los conceptos científicos implican una conservación. Mientras esta conservación es directamente observable — como en la famosa tarea piagetiana de la plastilina— es asequible para los niños del periodo operacional concreto, pero cuando se trata de una conservación no observable, sólo puede alcanzarse por vía conceptual, es decir tomando conciencia de las relaciones entre conceptos.

Como es conocido, los alumnos tienen dificultades considerables para fijarse en la conservación de la masa tras una reacción química o tras una disolución (para una fundamentación de estas dificultades conceptuales véase más adelante el apartado 3.2.; asimismo pueden encontrarse numerosos ejemplos de estas dificultades a lo largo de los capítulos 5 y 6), en la conservación de la energía (Pozo, 1987a), en la conservación de la cantidad de movimiento o inercia (Pozo, 1987b), etc. Esta dificultad está en nuestra opinión conectada con la tendencia a interpretar las situaciones mediante el esquema de causalidad lineal recogido unas páginas más arriba en la figura 2.2. La idea de que los efectos se producen en un solo sentido implica centrarse en el cambio (acción), olvidando los efectos recíprocos (reacción), que aseguran la conservación.

Se trata en definitiva una vez más del dominio de la reversibilidad piagetiana, que en este caso se aplicaría a la comprensión de sistemas en equilibrio (conservación) más allá de cambios aparentes (transformación). Comprender la naturaleza como un sistema de equilibrio en diversos parámetros es quizá uno de los logros más sustantivos del conocimiento científico. Sin embargo, a los alumnos les resulta muy difícil entender el equilibrio, ya sea mecánico, físico o químico, por no

decir otro tipo de sistemas en equilibrio, de naturaleza sociopolítica (el equilibrio entre los tres poderes), histórica (la "Guerra Fría"), económica (la balanza de pagos) o psicológica (desde la equilibración piagetiana al sistema hidráulico de Freud; véase Haroutounian, 1983).

La noción de equilibrio es tan general que podría servir de esquema integrador para la mayor parte de los conocimientos científicos, si bien ello no implica que todos los tipos de equilibrio que hemos descrito sean similares. En todo caso, enseñar a los alumnos a interpretar una situación como un sistema de equilibrio en el que algo se transforma para que, como en la célebre novela de Lampedusa, todo siga igual, es una de las habilidades generales para el conocimiento científico que permitirían una más integrada enseñanza de la ciencia. Pero sin duda la idea del cambio conceptual que se corresponde con el modelo que acabamos de esbozar es diferente en algunos puntos de la mantenida por los partidarios del enfoque de las concepciones alternativas, por lo que, sin detenernos en exceso en un tema que merecería un análisis mucho más pormenorizado, esbozaremos algunas de las implicaciones de lo que acabamos de exponer para el cambio conceptual.

2.5 EL CAMBIO CONCEPTUAL; o cómo cambian las ideas de los alumnos¹

Cada uno de los apartados anteriores tiene consecuencias con respecto a la forma en que los alumnos aprenden ciencia. de hecho, hemos venido mencionado ya algunas de esas implicaciones a lo largo de la exposición. Sin embargo, antes de resumir algunas de estas implicaciones es preciso hacer algunas precisiones terminológicas sobre el llamado *constructivismo* y la forma en que éste puede ser llevado al aula y en el tipo de constructivismo recogido en el D.C.B. de Ciencias de la Naturaleza.

Con la dificultad y el riesgo que conlleva esquematizar un tema tan complejo y en tan intensa ebullición podríamos diferenciar, siguiendo el esquema ya desarrollado, páginas atrás, en el apartado 1.3.4., dos tipos —o si se prefiere dos principios o leyes— de constructivismo (véase

¹Parte de este apartado ha sido publicado en forma de artículo en la revista *Cuadernos de Pedagogía* en el número dedicado al D.C.B. de Ciencias de la Naturaleza (Pozo, J.I. "Una nueva forma de aprender". *Cuadernos de Pedagogía*, 1990, 180, 24-27).

de un modo más extenso Pozo, 1989). Un primer tipo, que podríamos denominar constructivismo estático –próximo en la terminología piagetiana a la asimilación–, quedaría resumido por la célebre frase del psicólogo gestaltista Koffka “ *vemos las cosas no como son, sino como somos nosotros*”. Cualquier percepción, visión o interpretación que hagamos (seamos alumnos o profesores, actores o espectadores, policías o ladrones) ante cualquier hecho (sea la disolución de un terrón de azúcar en un vaso de café con leche, el derrumbamiento del muro de Berlín o los efectos de la lluvia ácida) es producto no sólo del hecho percibido sino muy especialmente de los ojos con los que lo vemos.

Buena parte de la investigación sobre la enseñanza de la Ciencia, especialmente la basada en el enfoque de las concepciones alternativas, ha estado dedicada en la última década a estudiar los ojos con los que los alumnos ven los fenómenos científicos. Se plantea entonces un segundo problema, que los estudios anteriores, por importantes que sean, apenas resuelven: ¿cómo hacer que los alumnos adquieran los núcleos conceptuales de la ciencia, como pretende el D.C.B., en lugar de sus concepciones previas? Esta pregunta está indisolublemente ligada al origen y funcionamiento de esas concepciones previas, en especial a los procesos psicológicos mediante los que se cambian o aprenden, descritos en el apartado 2.3. de esta Memoria. Es el segundo tipo o principio del constructivismo, que llamaremos *dinámico*, conectado a su vez con la acomodación piagetiana; según esta idea el aprendizaje sería siempre el producto de la interacción de la idea previa activada y la nueva información proporcionada por la situación de aprendizaje. El producto de esa interacción podría variar en función de condiciones diversas pero para que haya algún cambio en la idea inicial debe producirse algún tipo de conflicto cognitivo así como una toma de conciencia por parte del alumno con respecto a sus propias ideas y a su diferencia con otros modelos conceptuales alternativos. No serían los datos contrarios los que harían que el alumno abandone sus ideas previas sino la existencia de teorías que el alumno pueda percibir como mejores o más explicativas la que haga que sus ideas evolucionen o sufran verdaderas reestructuraciones (Pozo, 1989).

De lo anterior se derivan varios principios importantes para fomentar esa reestructuración, verdadera perestroika mental necesaria para el aprendizaje de teorías científicas, uno de los objetivos prioritarios del D.C.B.:

- a) La enseñanza de la ciencia debe basarse en un conocimiento previo de las ideas con que los alumnos llegan a un aula de ciencias.
- b) Es imprescindible diseñar situaciones didácticas para que los alumnos reflexionen sobre sus propias ideas y tomen conciencia de ellas.
- c) Las ideas de los alumnos no deben concebirse como un obstáculo para el aprendizaje de la ciencia sino como un vehículo para el mismo; no se trata de que los alumnos aprendan ciencia *a pesar de ellas* sino *a través de ellas*.
- d) No se trata por tanto de suprimir, sustituir o hacer que el alumno abandone sus propias ideas, sino de que a partir de ellas se desarrollen nuevas concepciones, más próximas a las científicamente aceptadas.
- e) Por tanto, el cambio conceptual debe ser algo progresivo, gradual, que sólo es posible dentro de un currículo vertical coherente; en otras palabras, no es la sustitución de un concepto o idea por otro, sino el cambio de una estructura por otra, de una teoría implícita por otra explícita y más avanzada.
- f) Aunque los contraejemplos y los datos en contra puedan ayudar a tomar conciencia de las debilidades de las concepciones previas de los alumnos, sólo la presencia de una teoría que para ellos resulte más explicativa facilitará el verdadero cambio conceptual.

De todos los puntos anteriores quisiéramos destacar dos ideas que a nuestro entender no siempre se tienen en cuenta en las propuestas didácticas basadas en un aprendizaje constructivo. En primer lugar, la distinción entre constructivismo estático y dinámico sirve para establecer una idea fundamental: cuando intentamos que los alumnos cambien sus ideas sobre los hechos científicos debemos de tener en cuenta la forma en que esas ideas que el alumno activa han sido adquiridas.

Los análisis que hemos realizado a lo largo de este capítulo muestran que los procesos que están en el origen —sensorial, cultural o analógico— de las concepciones alternativas suelen ser bien diferentes de los que luego hay que usar para modificar esas mismas ideas. Dicho de otra forma —y de acuerdo con la distinción establecida entre dos tipos de constructivismo— las “teorías personales” activadas por los alumnos para “construir”, en sentido estático, una determinada tarea o concepto, probablemente hayan sido adquiridas por procesos asociativos más

que constructivos. Es muy sugestiva la similitud entre los procesos que, según nuestros análisis, están en el origen de las teorías implícitas, y los clásicos procesos del aprendizaje asociativo (Pozo, 1989). Ello implica que puede ser engañoso buscar técnicas y recursos didácticos que se apoyen en el aprendizaje "espontáneo" del alumno, ya que éste puede dar lugar a aprendizajes bastante poco significativos siempre que no vaya acompañado de una instrucción adecuada.

Una segunda implicación es que la noción de cambio conceptual tendría un nivel jerárquico intermedio a los dos tipos de cambio cognitivo defendidos respectivamente por cada uno de los dos enfoques comentados en el capítulo 1 (en especial en el apartado 1.3.4.). No se trataría ni de un cambio estructural *à la Piaget* ni de un cambio de un conocimiento específico por otro, sino que en nuestra opinión el nivel óptimo para la búsqueda del cambio conceptual son los esquemas generales y su aplicación a dominios específicos a través de las teorías implícitas. De hecho, todos los análisis que venimos realizando deben completarse con una profundización exhaustiva en un área determinada. En la Segunda Parte de este trabajo presentamos un análisis minucioso de las ideas de los alumnos en la comprensión de la Química. Esta Segunda Parte no debe considerarse sólo como complementaria de lo expuesto hasta ahora, sino, en un ejemplo de la interacción de sistemas antes descrita, como una continuación que da significado a esta Primera Parte más general, al tiempo que esperamos que las páginas anteriores permitan interpretar adecuadamente muchos de los datos que se recogen a continuación.

CAPITULO 3

PRINCIPALES NUCLEOS CONCEPTUALES EN LA COMPRESION DE LA QUIMICA

En la Primera Parte de este trabajo hemos intentado analizar los procesos psicológicos que influyen en la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos de 12 a 16 años y hemos podido observar que esa comprensión depende tanto de ciertas estructuras y procesos cognitivos generales como de los conocimientos específicos que los alumnos han adquirido sobre un área determinada. Este intento de conectar niveles de análisis jerárquicamente distintos nos obliga necesariamente a estudiar la forma en que esas características generales del conocimiento científico de los alumnos —consistentes en las reglas que utilizan para organizar causalmente el mundo y en el tipo de esquemas o estructuras conceptuales que activan para interpretar las tareas científicas a las que se enfrentan— influyen en su comprensión de un área determinada.

Dada la imposibilidad de revisar aquí todos los dominios científicos, hemos escogido para hacer este estudio la Química, ya que, por un lado, no existe hasta la fecha, que nosotros sepamos, ningún esfuerzo de integración de todos los datos que en los últimos años se han venido recogiendo con respecto a las teorías implícitas de los alumnos sobre los fenómenos químicos. Aunque existen algunos intentos parciales, incluso realizados en nuestro país (por ej., Hierrezuelo y Montero, 1988; Llorens, en prensa), creemos que un análisis exhaustivo y organizado de los estudios acumulados con respecto a la comprensión de la química por los alumnos puede ser de mucha ayuda para la secuenciación de los contenidos de Química dentro de los futuros Proyectos Curriculares.

Pero no nos limitaremos a reseñar los principales trabajos realizados en este área, sino que nuestra intención es proporcionar además criterios explicativos e interpretativos con respecto a las principales dificultades de comprensión encontradas por los alumnos en la Química, ya que ello nos permitirá no sólo conectar esta revisión con los planteamientos expuestos en la Primera Parte de este trabajo, sino también integrar una gran cantidad de resultados aparentemente dispersos – característicos del enfoque fragmentado de las concepciones alternativas – en un marco teórico común.

Por ello, antes de revisar con detalle la comprensión que tienen los alumnos de las principales nociones químicas (capítulos 4 a 6) y de analizar las variables que afectan al rendimiento de los alumnos en química y ayudan a predecirlo (capítulo 7), expondremos los que a nuestro entender constituyen los tres principales problemas conceptuales que los alumnos han de superar para alcanzar una adecuada comprensión de la Química que se les intenta enseñar. Aunque apenas existen datos sobre el grado de coherencia y/o consistencia de las ideas químicas de los alumnos, creemos que resulta útil establecer una jerarquía de las dificultades de comprensión. Así, en nuestra revisión partiremos de la idea de que la mayor parte de esas dificultades provienen de una insuficiente asimilación de tres núcleos o estructuras conceptuales generales de las que se derivan otras muchas nociones más específicas. De esta forma, y coherentemente con el modelo expuesto en el capítulo 2, la enseñanza de la Química debería estar dirigida no sólo a promover cambios conceptuales en una serie de nociones específicas, que constituyen tradicionalmente el armazón de los currículos de química, sino a facilitar la adquisición de ciertas estructuras generales, conectadas con los esquemas descritos en el capítulo 2, y cuya comprensión resulta bastante difícil para los adolescentes, ya que, como veremos, requiere la superación de algunas de las limitaciones más características de su pensamiento causal descritas con anterioridad.

Aunque posiblemente pudiera encontrarse alguna otra forma de clasificar las principales dificultades en la comprensión de la Química, en nuestra opinión los tres núcleos o estructuras conceptuales que el alumno debe dominar para comprender la Química son la comprensión de la naturaleza discontinua de la materia, la conservación de propiedades no observables de la materia y la cuantificación de relaciones. La primera de ellas, la idea de discontinuidad, es fundamental para comprender como está formada la materia y por tanto interpretar y comprender

sus propiedades. El segundo núcleo, la conservación de propiedades no observables, es necesario junto con el anterior para comprender las transformaciones a las que se ve sometida la materia, los cambios físicos y los cambios químicos. Por último, al hablar de cuantificación de relaciones, queremos referirnos a la representación cuantitativa de las leyes físico-químicas y a su aplicación práctica. Estos tres problemas, como veremos en los próximos capítulos, aparecen latentes en las ideas de los estudiantes sobre los distintos conceptos químicos y en las dificultades que encuentran para comprenderlos y aplicarlos. Expondremos a continuación en qué consiste cada uno de estos tres núcleos, analizando no sólo su importancia dentro de la estructura conceptual de la Química sino también las razones psicológicas por las que, a partir de lo expuesto en la Primera Parte de este trabajo, los alumnos mantienen teorías implícitas que se muestran resistentes a modificar. Obviamente, nos limitaremos a esbozar lo que, con mayor detalle, se ejemplificará en los capítulos siguientes.

3.1 CONTINUIDAD/DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA

La materia, desde el punto de vista científico, tiene una naturaleza corpuscular y discontinua, está formada por partículas que pueden moverse, unirse o combinarse unas con otras, no existiendo absolutamente nada entre ellas, lo que implica la noción de vacío. Estas ideas resultan fundamentales a la hora de describir la estructura de la materia y en toda explicación causal de cualquier fenómeno que implique un cambio en ella.

La química describe la materia como formada por unas partículas a las que llamamos átomos, de los que existen 109 tipos diferentes. Estos átomos pueden combinarse entre sí formando moléculas, denominadas elementos cuando los átomos son de un solo tipo (pueden ser un átomo aislado o uniones de dos o más átomos iguales) y compuestos cuando se unen átomos de dos o más tipos diferentes. Los átomos, a su vez, están formados por otras partículas más pequeñas: protones, neutrones y electrones, que van a ser los responsables de las propiedades químicas de la materia.

La noción de discontinuidad es necesaria para comprender y explicar diversos aspectos de la estructura de la materia: los estados en

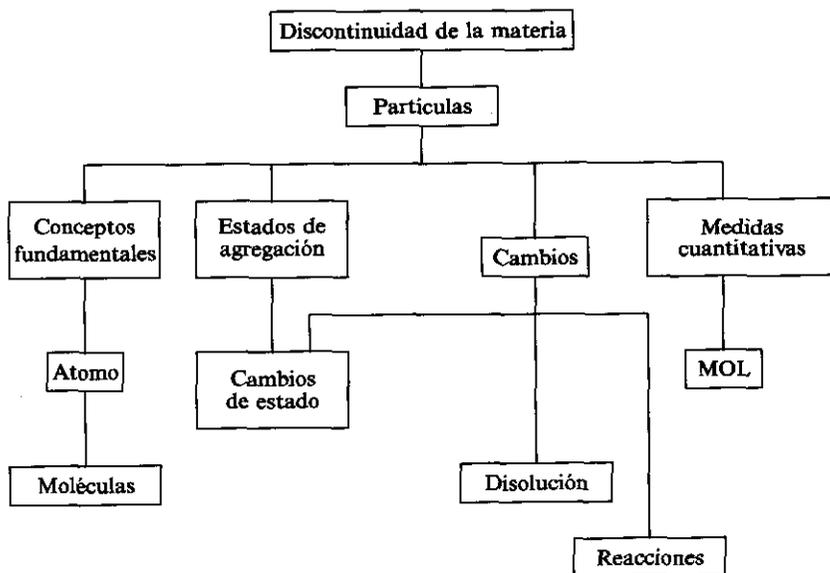
que se presenta (sólido, líquido y gaseoso), los cambios de estado, la difusión de los gases, los fenómenos de disolución, etc. Así mismo, la comprensión de la naturaleza corpuscular de la materia, es necesaria para la interpretación de los cambios químicos (reacciones químicas), para entender como a partir de unas determinadas sustancias, a las que llamamos reactivos, se obtienen otras totalmente diferentes, llamadas productos. La noción de partícula va a permitir explicar los cambios químicos como una reestructuración de los átomos de las sustancias participantes. Los átomos de los compuestos de partida, durante la reacción química, se separan individualmente o en grupo para volver a combinarse de otra forma diferente, dando lugar a los productos de la reacción. Así mismo, cuando se realizan medidas o se establecen relaciones cuantitativas dentro de la química, va a ser muy importante la interpretación corpuscular de la materia. Los cálculos se ven muy simplificados cuando se realizan a través del número de partículas de una sustancia. Por ello se introduce el concepto de mol, que representa una medida de un número fijo de partículas de la sustancia de que se trate y alrededor del cual giran gran parte de los cálculos que se realizan en la química elemental. En la figura 3.1 hemos intentado representar una de las posibles conexiones que pueden establecerse entre la idea de discontinuidad de la materia y los principales conceptos químicos.

Desde el punto de vista histórico, las primeras interpretaciones atomistas de la materia fueron dadas por los filósofos griegos y romanos que llegaron a considerar átomos individuales moviéndose a través del vacío. Estas ideas, aunque han ido transmitiéndose hasta nuestros días, fueron eclipsadas por las de Aristóteles, que consideraba la materia continua y formada por cuatro elementos: aire, agua, tierra y fuego, a los que añadió un quinto, el eter, que penetra en el mundo por todas partes. Estas ideas, la continuidad y la no existencia del vacío, tuvieron gran influencia a lo largo de la historia y fueron transmitidas durante el siglo XVII por Descartes. La existencia del vacío fue demostrada por Torricelli durante este mismo siglo, pero, a pesar de ello, persistió la idea cartesiana del eter, una sustancia que todo lo impregna, hasta los primeros años de nuestro siglo. La idea moderna de átomo, aunque no fue aceptada totalmente hasta los comienzos del siglo XX, fue introducida por Dalton a principios del siglo XIX. En su "Un nuevo sistema de la filosofía química" (1808) enuncia su teoría atómica basada en los siguientes postulados:

1. La materia está compuesta por un gran número de partículas diminutas e indivisibles llamadas átomos, las cuales no pueden ser ni creadas, ni destruidas.
2. Todo elemento consta de átomos iguales de masa constante.
3. Los átomos pueden combinarse para formar compuestos químicos, según relaciones numéricas sencillas.

FIGURA 3.1

Principales conceptos químicos relacionados con la noción de discontinuidad de la materia.



La teoría atómica de Dalton, en gran parte la base de la enseñanza de la química elemental, fue evolucionando hasta nuestros días en que consideramos el átomo como divisible y formado por otras partículas más pequeñas a las que se denomina partículas subatómicas.

Sin embargo, como se verá a lo largo de los próximos capítulos, son numerosos los estudios que muestran que los alumnos son muy reacios

a aceptar la naturaleza discontinua de la materia. Parecen mantener de modo bastante generalizado y tenaz teorías implícitas según las cuales la estructura no observable de la materia tiene propiedades similares en lo esencial a sus características observables. Esta tendencia a interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos (Brook *et al*, 1983; Driver, 1985; Llorens, 1988; etc) les lleva a rechazar, o al menos a ignorar, el vacío entre las partículas y a pensar por tanto que la materia es por naturaleza continua.

Muchas pueden ser las causas de esta perseverancia. Pero dejando a un lado otro tipo de factores, la existencia de este tipo de creencia es claramente coherente con el retrato que del pensamiento causal del alumno hacíamos en el capítulo 2. Se observa un predominio de lo observable sobre lo no observable. Por decirlo en pocas palabras, los alumnos *conciben la materia tal como la perciben*. Esta dependencia de sus sentidos, que como veíamos va decreciendo desde los primeros momentos del desarrollo cognitivo a medida que los niños construyen estructuras conceptuales para superar las apariencias perceptivas, es aún lo suficientemente fuerte como para dificultar la comprensión de un mundo compuesto por unidades invisibles y discretas, que a fuerza de ser invisibles —que ya no indivisibles— y a fuerza de ser discretas, ni nos enteramos de su existencia.

Esta dificultad de comprensión de la naturaleza discontinua de la materia se ve a nuestro entender dificultada por otros dos factores. Aunque los alumnos lleguen a vislumbrar en algunas tareas o situaciones la posibilidad de un mundo discontinuo, oculto en el mundo continuo que ven a diario, tienden a regresar a sus ideas intuitivas, por dos razones. Una primera, de menor importancia, es la creencia en la *semejanza entre las causas y los efectos*. Si, como se les dice, la “conducta” de la materia depende de su estructura íntima, nada más “razonable” que atribuir a esas causas no observables un carácter similar a los efectos que producen.

Pero hay un segundo factor, en nuestra opinión mucho más importante, y que en definitiva explicaría la persistencia de las ideas de continuidad en los alumnos, a pesar de su superación parcial en algunas tareas o contextos. Aunque no ha recibido excesiva atención en la investigación realizada hasta la fecha sobre la comprensión de la química, pensamos que tras estas dificultades subyace un problema de *representación de lo no observable*. En la medida en que el alumno debe abandonar los indicios perceptivos como fuente de representaciones

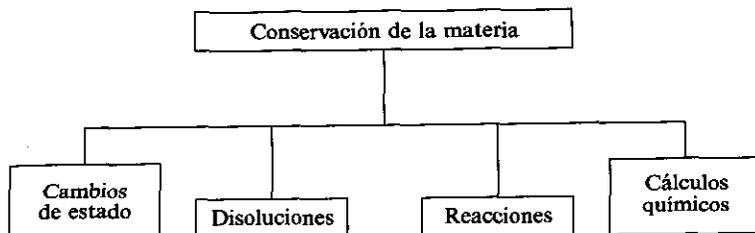
con respecto a la estructura de la materia, carece de ningun otro código de representación alternativo. Dicho en otras palabras, si las imágenes que el alumno recibe del mundo no son suficientes para que comprenda la estructura de la materia, la enseñanza no logra proporcionarles sistemas de representación alternativos que les permitan comprender su naturaleza. Los sistemas proposicionales que se les proporcionan —matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos—, junto con una utilización muy escasa de representaciones analógicas —basadas en imágenes—, no resultan suficientes. De ser cierta esta interpretación, se precisaría un esfuerzo en la elaboración de sistemas de representación alternativos para la didáctica de la química, no sólo analíticos o proposicionales, sino fundamentalmente analógicos. Como se apuntaba en el capítulo 2, la analogía debe desempeñar una labor esencial en la enseñanza de las ciencias y muy especialmente en el caso de la química.

3.2 CONSERVACION DE LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA

La materia puede sufrir diversas transformaciones que habitualmente se clasifican como cambios físicos (cambios de estado y disoluciones) o como cambios químicos (reacciones). Para comprender e interpretar estos procesos es necesario, desde el punto de vista científico, tener en cuenta la conservación de ciertas propiedades no observables de la materia. En la figura 3.2 aparecen las áreas más importantes de la química con las que se relaciona la noción de conservación.

FIGURA 3.2

Principales conceptos químicos relacionados con la noción de conservación de la materia.



En los cambios físicos que experimenta la materia (disoluciones y cambios de estado) se conservan las sustancias que intervienen, se mantiene su identidad y no cambia su estructura microscópica, ya sean moléculas o iones. En ambos casos los cambios son reversibles y pueden recuperarse las sustancias intactas, tanto en su estructura como en su cantidad. En los cambios químicos (las reacciones) la identidad de las sustancias que participan el proceso se modifica, se produce una reordenación de los átomos que las forman, cambiando por tanto su estructura microscópica, lo que hace que la transformación no sea reversible por métodos físicos. En este tipo de procesos a partir de unas determinadas sustancias, los reactivos, obtenemos otras diferentes, los productos. Sin embargo, se conserva el número total de átomos de cada elemento presentes al principio y al final, ni se forman átomos nuevos ni desaparecen los que ya teníamos. En esta conservación están basados los sistemas de ajuste de las ecuaciones químicas y los cálculos estequiométricos que se realizan en las reacciones químicas.

A lo largo de la historia ha habido interpretaciones diversas sobre la conservación y no conservación de la materia en todo tipo de procesos. La primera referencia aparece ya en el mundo clásico, donde Lucrecio, en su *De rerum natura*, viene a decir que las cosas no pueden surgir de la nada, y, si han surgido, no pueden volver a la nada. Posteriormente es en la mecánica newtoniana donde se hace referencia a la conservación de la masa. Y, son los trabajos de Lavoisier en el siglo XVIII los que proporcionaron, en su *Traité élémentaire de Chimie*, las pruebas explícitas de la ley de conservación de la masa. Posteriormente, con el desarrollo de la teoría atómica, fueron desarrollándose una serie de leyes que configuran las ideas de conservación en la química moderna.

Si esta construcción histórica de las nociones de conservación es sumamente laboriosa, otro tanto sucede con su construcción en la mente de los alumnos. Como los estudios piagetianos han mostrado con claridad, casi la totalidad de las constantes y conservaciones que podemos establecer con respecto al mundo que nos rodea son el producto de nuestro esfuerzo cognitivo por comprenderlo y, por tanto, lejos de ser una intuición, son una construcción. Nuevamente lo aparente es el cambio. Como señalábamos en el apartado 2.3., nuestro pensamiento tiende a centrarse más en lo que cambia que en lo que permanece. Por ello debemos ir comprendiendo que tras los cambios aparentes hay algo que permanece. Y hemos de hacerlo para construir desde la permanen-

cia del objeto, uno de los más brillantes descubrimientos que hacen los bebés, hasta las conservaciones observables, que según Piaget, serían un producto característico de las operaciones concretas.

Una característica de estas conservaciones —descritas con detalle al analizar la concepción piagetiana del atomismo infantil en el próximo capítulo— es que tanto lo que cambia como lo que permanece es perceptible, aunque no sea igualmente destacado. Sin embargo, en aquellos casos en los que sólo el cambio es perceptible, pero no lo que se conserva, Piaget consideraba que se requerían las operaciones formales para comprender esa noción (véase el capítulo 1 de este trabajo). Sea o no así, sí parece que lo que se conserva tras un cambio físico o químico de la materia (disolución, reacción, etc) pertenece al mundo de lo no observable, nos remite una vez más a esas minúsculas partículas que componen la estructura oculta de la realidad. Por consiguiente, tal como se señalaba en el capítulo 2 en relación con la *conservación y el equilibrio*, este es uno de los problemas más difíciles de superar en la comprensión de la química, que impiden en último extremo comprender la propia noción de cambio de la materia y, en definitiva, la propia estructura química de la realidad.

3.3 CUANTIFICACION DE RELACIONES

Como ya hemos indicado, entendemos por cuantificación de relaciones la representación cuantitativa de las leyes físico-químicas y su aplicación práctica. La cuantificación constituye el tercer gran problema en la comprensión de la química. Este problema está directamente relacionado con los dos anteriores, la continuidad/discontinuidad y la conservación, y no podrá superarse mientras no se hayan superado estos dado que la mayor parte de los cálculos que han de realizarse en el estudio de la química están basados en la medida del número de partículas (átomos, moléculas, etc.) que intervienen en un proceso y en su conservación a lo largo de él. La aplicación cuantitativa de las leyes químicas constituye una de las partes más importantes de esta ciencia, quizás, como veremos en los capítulos siguientes, la que más dificultades representa para los alumnos.

Si observamos las leyes químicas elementales, las que se utilizan en la enseñanza secundaria, encontramos que en general no representan muchas dificultades matemáticas a la hora de su aplicación. Desde las

aplicaciones de las leyes de los gases hasta las relaciones estequiométricas dentro de una reacción, pasando por los cálculos de concentraciones de una disolución, prácticamente la gran mayoría de los cálculos químicos se pueden realizar aplicando relaciones de proporcionalidad. Pero este es el gran problema de la cuantificación de las relaciones químicas: el *razonamiento proporcional*. Como veremos en los próximos capítulos, el cálculo de proporciones –conectado con otro de los esquemas generales descritos en el capítulo anterior– plantea grandes problemas a los estudiantes, sobre todo teniendo en cuenta el número de proporciones diferentes que aparecen en los problemas de química. Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto la relación existente entre el rendimiento en Química y el manejo de cálculos proporcionales.

La proporción es un esquema ampliamente descrito por Inhelder y Piaget (1955) y supone el conocimiento de la relación de igualdad entre dos razones, por lo tanto, exige conocer que un cambio en un miembro de la proporción se puede compensar con un cambio en el otro miembro sin que cambie la igualdad entre las razones. Según Inhelder y Piaget la comprensión de las proporciones no aparece en ningún dominio antes de que las operaciones formales se hayan construido.

Antes de alcanzar este tipo de razonamiento se utilizan estrategias menos complejas, menos elaboradas, que abarcan desde la más primitiva evolutivamente, la estrategia cualitativa, pasando por la estrategia aditiva y acabando con la estrategia por correspondencia.

TABLA 3.1

**Principales aplicaciones
cuantitativas de la química**

- Cálculos con moles.
- Cálculos de núm. de partículas (átomos, etc.)
- Aplicaciones de las leyes de los gases.
- Concentración de disoluciones.
- Ajuste de reacciones.
- Cálculos estequiométricos.
- Aspectos cinéticos de una reacción.
- Equilibrio químico

La estrategia más simple, la cualitativa, consiste en ignorar parte de los datos del problema comparando entre magnitudes absolutas, no se establece, por tanto, ningún cálculo numérico. Esta estrategia es propia de los niños preoperacionales (Pérez Echeverría, 1988). Sin embargo es utilizada con frecuencia por los adolescentes (Pérez Echeverría, Carretero y Pozo, 1986). Como veremos en el capítulo 6, un ejemplo de esta estrategia lo encontramos a la hora de comparar concentraciones de disoluciones; algunos alumnos centran su atención en una sola de las variables, es decir, se fijan únicamente en la cantidad de sustancia o en el volumen.

La estrategia aditiva consiste en sustraer un término del otro y llevar después la diferencia a la segunda razón. En el problema siguiente:

Sabiendo que en la agua , las cantidades de oxígeno e hidrógeno están en la proporción masa O /masa H = 8 ¿Qué cantidad de O habrá cuando tenemos 10 gr. de H?

Utilizar la estrategia aditiva supondría

$$8=1 = X=10$$

restar $8 - 1 = 7$ y traspasar la diferencia a la otra razón

$$X - 10 = 7 \quad X = 17$$

Se han observado estrategias aditivas tanto en niños como adolescentes aunque según Inhelder y Piaget (1955) se trataría de la estrategia que caracteriza al niño de las operaciones concretas.

La estrategia por correspondencia consiste en establecer una relación de proporción y aplicarlo a la otra razón. Por ejemplo, si queremos saber cuál de las dos disoluciones siguientes está más concentrada

3 moles de sal en 5 l. de agua

frente a

2 moles de sal en 4 l. de agua

Utilizar una estrategia de correspondencia implicaría establecer una relación de proporción en la segunda proporción 1:2 y trasladarla a la primera. El alumno diría que la primera está más concentrada

puesto que para tener la misma concentración tendríamos que tener $3=6$ y de este modo, disponemos de 1 l. menos de agua.

Pérez Echeverría, Carretero y Pozo (1986) comprobaron que el uso de estrategias más o menos elaboradas dependía de la edad y el nivel escolar y del tipo de problema. Un mismo sujeto varía en el tipo de estrategia usado dependiendo de la tarea, así los problemas más fáciles se resuelven con estrategias más elaboradas y los más difíciles con estrategias más simples. Por tanto, parece que el cálculo de proporciones no es un problema de competencia, es decir, de que los alumnos no sepan utilizarla en absoluto sino un problema de actuación que depende de factores que afectan tanto a la tarea como al sujeto. Con respecto a los factores que afectan a la tarea podemos hablar (Tourniaiere y Pulos, 1985) de: variables estructurales (magnitud de los números, si son proporciones directamente o indirectamente proporcionales, si son o no proporciones equivalentes, si se trabaja con números enteros o decimales) y variables contextuales (contenido de la tarea, tipo de respuesta que se le exige al sujeto, el que la presentación sea analógica, química y/o matemática). Con respecto al sujeto que resuelve la tarea debemos tener en cuenta variables tales como el desarrollo cognitivo, edad, nivel de instrucción, dependencia/independencia de campo, capacidad mental. etc. (véase el capítulo 7 de este trabajo).

CAPITULO 4

CONCEPTOS QUIMICOS FUNDAMENTALES

En los capítulos siguientes vamos a estudiar la comprensión y el aprendizaje de los conceptos químicos más fundamentales, las ideas alternativas que sobre ellos tienen nuestros alumnos y las dificultades que encuentran en su aplicación.

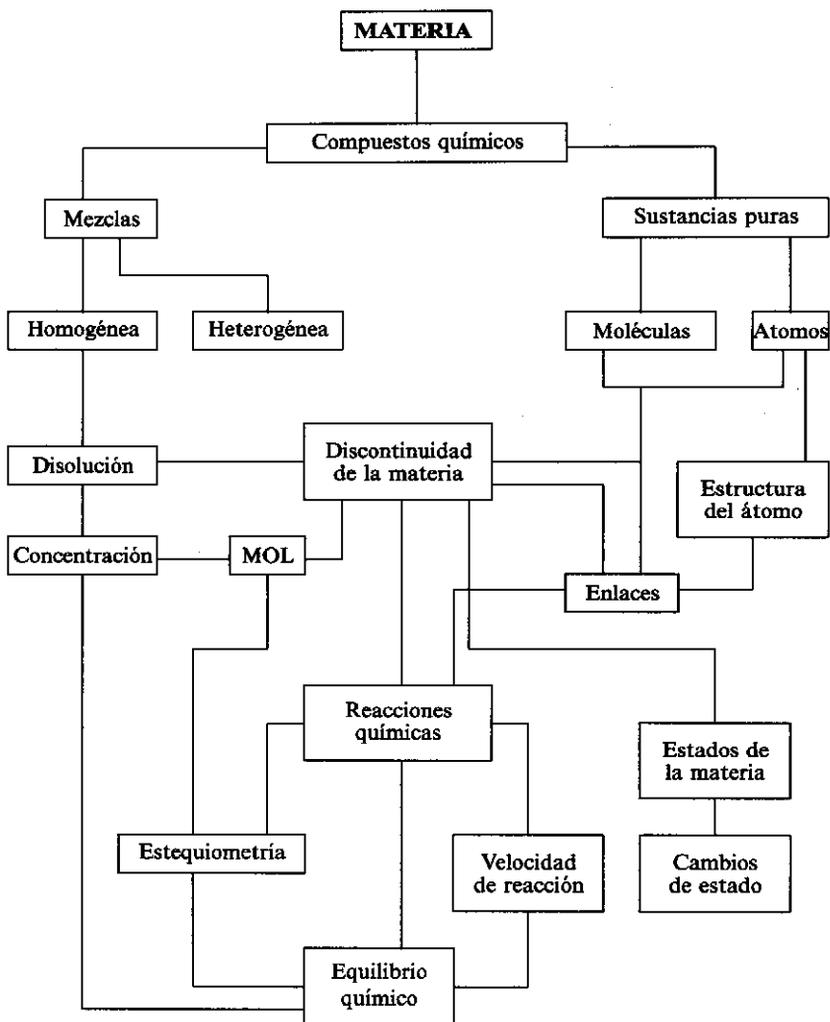
Debemos tener en cuenta que la Química es una parte de la Ciencia que se encuentra íntimamente conectada con la Física, especialmente en la zona común que se ha dado en llamar Química-Física. Gran parte de los conceptos que se enseñan en la EGB y en el Bachillerato pertenecen a esta zona común y son difíciles de clasificar como Física o como Química (por ejemplo, gases, cambios de estado, etc.). Por ello, aunque los siguientes capítulos están dedicados a la comprensión de la Química, no podemos evitar que en ocasiones se haga referencia a conceptos que son considerados más bien físicos (por ejemplo, la presión de un gas).

Los conceptos que desarrollamos están, en su mayor parte, centrados en la etapa 12-16 años, se encuentran en el Curriculum actual y aparecen en el Documento Curricular Base propuesto por el M.E.C. para el Área de Ciencias de la Naturaleza. Sin embargo, no puede evitarse que, en busca de una mayor profundidad, aparezcan conceptos que se suelen desarrollar en etapas anteriores o posteriores, es, por ejemplo, el caso del concepto de Equilibrio Químico que habitualmente se desarrolla en 3º de BUP o en COU.

Los conceptos químicos más importantes los hemos relacionado mediante un mapa conceptual en el que aparecen sus principales conexiones (véase la Figura 4.1).

FIGURA 4.1

Conceptos químicos más importantes que se desarrollan en los últimos cursos de EGB y en BUP.



Este mapa no pretende ser un estudio exhaustivo, sino establecer simplemente las principales relaciones entre los conceptos que vamos a estudiar, desarrollándose posteriormente, cuando sea necesario, mapas más detallados.

Vamos a desarrollar las ideas de los alumnos sobre la química dividiéndolas en tres apartados:

- Conceptos químicos fundamentales.
- Estados de agregación de la materia.
- Cambios de la materia.

En el primero, capítulo 4, vamos a estudiar las ideas de los alumnos sobre la discontinuidad de la materia y el concepto de partícula que, como ya hemos expuesto, puede considerarse uno de los núcleos fundamentales en el aprendizaje de la química. Asimismo, y tomando este concepto como punto de partida estudiaremos algunos de los conceptos más importantes dentro de la química elemental: átomo, molécula, mol, sustancia pura, etc. A continuación, en el capítulo 5, desarrollaremos la segunda parte, las ideas sobre los estados de agregación de la materia (sólido, líquido y gas). Posteriormente, en el capítulo 6, hablaremos de los cambios en la materia, desarrollando tres apartados dedicados a cambios de estado, disoluciones y reacciones químicas, terminando con un cuarto punto dedicado a los equilibrios químicos.

4.1 LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS SOBRE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA: EL CONCEPTO DE PARTICULA

4.1.1 Introducción

La comprensión que tienen los alumnos de Enseñanza Primaria y Secundaria sobre la naturaleza de la materia es uno de los temas más tratados dentro de la literatura especializada en la enseñanza y aprendizaje de la Química. En este apartado trataremos de exponer en qué estado se encuentra el tema: qué aspectos se han investigado, qué datos han revelado estos trabajos, qué metodología se ha utilizado y qué problemas se plantean a la hora de investigar estos temas, tanto desde un punto de vista metodológico como conceptual.

Fundamentalmente, la investigación se ha centrado en averiguar cuál es la visión que tienen los alumnos sobre la estructura de la materia: ¿materia continua o discontinua?. Y suponiendo que tengan una visión discontinua, ¿quiere decir esto que atribuyen a las partículas las características correctas desde un punto de vista científico?. Es decir, ¿hasta qué punto comprende el alumno la discontinuidad de la materia? Los estudios revisados, que examinaremos a continuación, muestran la existencia de una serie de ideas o concepciones alternativas respecto a las partículas que dificultan la comprensión no sólo de la estructura de la materia, sino de otras nociones como las diferencias entre los tres estados de agregación de la materia, los cambios de estado o las reacciones químicas (como veremos en los capítulos 5 y 6).

Otro aspecto también interesante, y que no podemos olvidar, dadas sus implicaciones para el diseño curricular es el estudio de la influencia de la instrucción en las ideas y la comprensión de los alumnos de la Ciencia. Algunos de los trabajos realizados con alumnos de 16-18 años han intentado valorar esta aportación, bien comparando el rendimiento de los alumnos que habían recibido instrucción con el de aquellos que no lo habían hecho, bien los resultados obtenidos por alumnos que eligieron opciones de Ciencias en su Enseñanza Secundaria frente a los que tomaron otras (Gabel, 1987; Stavy, 1988; Sumfleth, 1988).

Respecto a la metodología, hemos encontrado que la mayoría de los trabajos emplean tareas de lápiz y papel, de alguna o varias de las clases siguientes: abiertas (en las que el sujeto expresa su opinión) o cerradas (en las que el sujeto ha de elegir una de las opciones de respuesta que se le plantean), de representación (se pide al sujeto una representación gráfica como respuesta) o de explicación (se pide al sujeto una respuesta verbal, ya sea oral o escrita). También son frecuentes las entrevistas clínicas.

Estos estudios se han ocupado también de la dimensión evolutiva de estas ideas de los alumnos, puesto que han abarcado un amplio rango de edades: desde los 8-10 años a los 18, si bien la mayoría de los trabajos se centran en los alumnos de 12-15 años, período en el que habitualmente se inicia el estudio de la Química con temas sobre la estructura de la materia.

Una de las características más destacadas de estos estudios, que dificulta enormemente la elaboración de unas conclusiones claras y precisas sobre todos ellos, es el hecho de que cada uno de ellos investiga las respuestas que dan los alumnos en una tarea concreta, lo que no

permite generalizar los resultados ni unificar conclusiones. Tal como se indicaba en el punto 1.2.3. en relación con el enfoque de las concepciones alternativas, la mayor parte de los estudios sobre las ideas de los alumnos con respecto a la estructura de la materia son de carácter exclusivamente descriptivo y no realizan un análisis explicativo de los datos obtenidos, careciendo asimismo de un marco teórico que integre las aportaciones de las distintas investigaciones.

A pesar de estos problemas, existen en nuestra opinión, dos aspectos fundamentales que podrían resumir la mayor parte del contenido de los trabajos en este área. En primer lugar, parece bastante claro, que *la comprensión de la naturaleza discontinua de la materia* presenta grandes dificultades para muchos alumnos incluso después de haber recibido instrucción en este tema. Sostienen una concepción continua de la materia, concibiéndola como un todo indiferenciado. En segundo lugar, suponiendo que el alumno haya asumido una visión discontinua, el siguiente problema que se plantea es *si existe una comprensión real de la misma*. Ello implica que el alumno sea capaz de hacer referencia espontáneamente a dichas partículas para explicar fenómenos como, por ejemplo, los cambios de estado, y que les atribuya determinadas características de acuerdo con los presupuestos de la teoría cinético-molecular de partículas. No se trata en ningún caso de que el modelo corpuscular de un adolescente sea tan complejo como el de un químico, sino de que asuma ciertas ideas a un nivel elemental que, a medida que vaya aumentando su nivel de instrucción, irán perfeccionándose. En la tabla 4.1 recogemos algunas nociones fundamentales que el alumno de Enseñanza Secundaria debería haber adquirido una vez acabada la Secundaria Obligatoria. Estas nociones son las que, como mínimo, el alumno, de acuerdo con los currículos actuales y futuros, debe comprender. Pero, de hecho, los estudios revisados ponen de manifiesto que una gran mayoría no logra tal objetivo, no logra un aprendizaje significativo. De ello vamos a tratar en los siguientes apartados.

4.1.2 Estructura continua de la materia versus estructura corpuscular.

El primer paso que el alumno ha de dar en su camino hacia la comprensión de la naturaleza de la materia es, obviamente, concebirla de modo discontinuo, esto es, formada por partículas. Pero, los estudios que se han llevado a cabo muestran que, con frecuencia, esta visión

corpúscular no es la más común entre los alumnos. Muchos de ellos mantienen, al igual que lo hicieron en su momento Aristóteles y más tarde un gran número de científicos occidentales, que la estructura de la materia es continua, es decir, es un todo en el que no se pueden diferenciar partes.

TABLA 4.1

Nociones fundamentales que el alumno debería adquirir y/o consolidar durante el ciclo obligatorio de la enseñanza secundaria (14-16)

- La materia está constituida por partículas.
- Entre las partículas hay vacío.
- Las partículas están en continuo movimiento.
- La velocidad media de las partículas aumenta al elevar la temperatura y disminuye al descender la misma.
- Las partículas de una misma sustancia conservan su forma y tamaño.
- En los gases, las partículas:
 - Están muy separadas, y, en comparación con su tamaño, las distancias entre ellas son grandes.
 - Están desordenadas.
 - Están distribuidas por todo el espacio o recipiente en el que esté contenido el gas.
 - Se mueven más rápidamente que en los líquidos y en los sólidos.
- En los líquidos, las partículas:
 - Están menos separadas que en los gases, pero más que en los sólidos.
 - Están menos desordenadas que en los gases, pero más que en los sólidos.
 - Se mueven con menor velocidad que en los gases, pero más que en los sólidos.
- En los sólidos, las partículas:
 - Están muy próximas.
 - Están ordenadas.
 - Vibran, en vez de moverse.

Esta dicotomía, naturaleza continua *versus* naturaleza discontinua, ha dado lugar a tres preguntas fundamentales:

- a) ¿Cuál es la visión espontánea de nuestros alumnos sobre la naturaleza de la materia?.
- b) ¿Qué influencia tiene la instrucción en esa concepción de la materia?.
- c) ¿Cómo evoluciona dicha concepción?.

a) Concepciones de los alumnos sobre la estructura de la materia.

Las investigaciones realizadas parecen señalar dos tipos de resultados contradictorios. Por un lado, algunos estudios obtienen porcentajes bastante elevados (50% o más) de alumnos que usan de modo espontáneo el modelo de partículas. En cambio, otros estudios obtienen porcentajes muy bajos de alumnos (20% o menos) que emplean el modelo de partículas para explicar la naturaleza de la materia.

La primera postura se ve apoyada por los resultados obtenidos, entre otros, por Nussbaum (1985), Driver (1985) y Dickinson (1987). Datos favorables a la segunda posición proceden de los estudios realizados por Stavy (1985, 1988), Novick y Nussbaum (1985) y Llorens (1988).

Nussbaum (1985) realiza un estudio en el que intenta conocer en qué grado, 150 alumnos israelíes de 14 años, aplican el modelo de partículas para explicar fenómenos físicos relacionados con los gases. Los resultados indican que entre un 40% y un 70% de la muestra (el porcentaje depende de la tarea) utiliza el modelo de partículas para realizar las tareas. El autor concluye que los alumnos restantes tienen una visión de la estructura de la materia continua y estática.

Driver (1985) recoge varios estudios sobre la interpretación que alumnos de 8 a 17 años de edad dan a los cambios de estado, la combustión y la oxidación. En el apartado correspondiente a los cambios de estado, señala que, a partir de los 13 años, algunos de los estudiantes describen lo que ocurre en términos de la teoría atómico-molecular (veasé el apartado 4.3. de la Memoria para un análisis más detenido de esta investigación).

En otro trabajo (Brooks, Briggs y Bell, 1983) se encuentra que, aproximadamente, la mitad de los alumnos utilizan las partículas para

solucionar las tareas que se les proponen. Por otro lado, en un estudio sobre el desarrollo del concepto de materia (Dickinson, 1987) se indica que el concepto que tiene el adulto no es equivalente al del niño. La adquisición del concepto tal y como lo entiende el adulto puede ser el resultado, según el autor, del desarrollo del modelo atomista. Para hacer esta afirmación, se basa en la tendencia que encontró en los alumnos mayores de su muestra (12 años) a explicar la estructura de la materia en términos corpusculares (átomos y moléculas).

Stavy (1985) concluye, tras estudiar el conocimiento previo que el alumno posee de los conceptos "sólido" y "líquido" en una muestra de 200 estudiantes de 5 a 12-13 años, que, los niños no explican dichos conceptos en términos de la teoría atómico-molecular. En un segundo estudio (Stavy, 1988) sobre el concepto de gas encuentra que sólo un 15% de los alumnos de 12 a 14 años utilizan el modelo de partículas aprendido en la escuela para explicar los procesos de evaporación y sublimación.

Novick y Nussbaum (1985) indican que la visión continua de la estructura de la materia persiste, incluso en niveles preuniversitarios y universitarios, en un porcentaje aproximado de un 40%. En este mismo estudio, pasan a los sujetos (576 alumnos israelíes de diferente nivel académico -participan desde niños de 10 años hasta estudiantes universitarios, no especializados en Ciencias-) un test diseñado por los autores para conocer las ideas de los alumnos sobre la constitución de la materia ("Test About Particles": TAP) el cual consta de 9 ítems algunos de los cuales aparecen recogidos en el apéndice¹. En el ítem 4 (licuefacción) los autores encuentran que un pequeño número de estudiantes de todos los niveles dibujan la materia de modo continuo, a pesar de que en el dibujo inicial del ítem se representaba el gas por medio de partículas.

Parece que estos sujetos adoptaban una visión discontinua sólo para los gases, mientras que, para los sólidos y los líquidos, la suponían continua. Nos parece interesante resaltar este dato, que apoya la importancia de lo perceptivo en la concepción del alumno sobre la estructura de la materia. Este aspecto será ampliamente desarrollado en posteriores apartados.

¹Ver tarea 11.

Llorens (1988) señala las dificultades que, aún en niveles superiores e incluso en alumnos bien dotados, existen en la adquisición de una concepción discontinua de la materia. Asimismo, en el estudio experimental que realiza con una muestra de 606 alumnos (348 de primer grado de Formación Profesional y 258 de segundo de BUP) observa una *“escasa aplicación de la teoría atómico-molecular a la explicación de fenómenos macroscópicos”*.

Por último, Furió (1983) investiga, en una muestra de 290 estudiantes de EGB y BUP (11-15 años), el concepto de gas por medio de un cuestionario elaborado a tales efectos. Dentro de él (ver tarea 12 d) intenta conocer si el punto de vista del alumno sobre la estructura de la materia es atomista o continuo. Los resultados indican que la mayor parte de los alumnos se inclinan por una estructura atomista del gas, a pesar de que 3 de cada 10 alumnos conciben la estructura del gas de modo continuo.

De todos estos estudios se puede concluir que no existen posturas radicalmente a favor o en contra de la aplicación espontánea de la discontinuidad de la materia. Hay estudios que ofrecen datos tanto a favor como en contra. En cualquier caso, el tanto por ciento de alumnos que no emplean la teoría de partículas no es despreciable y sí muy significativo, puesto que, si el alumno ni siquiera concibe la materia como algo discontinuo, difícilmente va a poder introducirse con éxito en el mundo de la Química.

Por otra parte, los estudios comentados tienen en general una serie de limitaciones. Los datos se obtienen en tareas muy diferentes entre sí, tanto por la metodología empleada para recoger las respuestas de los alumnos (entrevistas clínicas de corte piagetiano, tests de lápiz y papel, experimentos de laboratorio, etc), como por el contenido de las mismas (unas estudian la visión continua o discontinua de la materia en tareas relativas a gases, otras con cambios de estado, otras con disoluciones, etc). Por todo ello es difícil sistematizar y homogeneizar los resultados. Tampoco podemos hablar de homogeneidad respecto a las características de las muestras estudiadas (hay enormes diferencias, sobre todo en cuanto a la edad y al nivel de instrucción de los sujetos) ni en los criterios de análisis de los datos. Se proponen, por un lado, tareas en las que el sujeto ha de reconocer la respuesta correcta, por otro, tareas en las que el sujeto ha de generar una respuesta. No existen apenas investigaciones que intenten comprobar si aparecen o no dife-

rencias significativas entre una y otra metodología cuando se aplican a un mismo grupo de sujetos.

Con frecuencia, los estudios realizados analizan los datos más desde un punto de vista cualitativo que cuantitativo, y, cuando se analizan desde este punto de vista, no suele hacer un tratamiento estadístico de los mismos.

También debemos tener en cuenta que las instrucciones que se dan al sujeto para realizar la tarea pueden influir en los resultados. Además, se da por supuesto que las ideas (o respuestas) de los alumnos son consistentes en el tiempo y en el contexto, lo que puede que no ser cierto. Sería conveniente también saber si algunas de esas concepciones son coherentes y consistentes en diferentes dominios del saber científico (Física, Química, Biología, etc).

b) Influencia de la instrucción recibida en la visión del alumno de la estructura de la materia

Los estudios realizados en este sentido son de dos tipos: por un lado, se han realizado trabajos en los que se intenta conocer las concepciones alternativas de un grupo de alumnos antes de recibir instrucción específica sobre el tema, comparándolas con las respuestas que dan los alumnos que ya han sido introducidos en el tema. En esta línea podemos citar los estudios de Sumfleth (1988), Furió (1983), Stavy (1988), Driver (1984), Camaño (1982) y Gabel (1987). Existe además otros grupo de trabajos cuyo objetivo es comprobar el grado de asimilación de un programa concreto de instrucción por parte del alumno. En este apartado es de destacar el trabajo de Nussbaum (1978), así como un estudio realizado en Escocia para evaluar un programa de Ciencias, y otro llevado a cabo en USA en 1982, comentados, respectivamente, en Driver (1985) y Nussbaum (1985).

En el primer grupo de estudios el objetivo principal es valorar en qué medida el alumno ha modificado sus concepciones previas, bien acercándolas a las científicas, bien alejándolas o no alterándolas, como consecuencia de haber estudiado la estructura de la materia dentro del currículum escolar de Ciencias. Asimismo, en algunos de ellos, se comparan los resultados obtenidos por estudiantes que han elegido Química dentro de su plan de estudios, con los que no lo han hecho.

Sumfleth (1988) estudia el nivel de conocimientos químicos, la explicación de términos químicos y las relaciones entre los conceptos adquiridos en una muestra de 307 estudiantes alemanes de más de 16 años que llevaban ya más de dos años estudiando Química. Los resultados pusieron de manifiesto un conocimiento superficial y memorístico, puesto que tuvieron grandes dificultades para explicar los términos químicos del test que se les pasó (los términos examinados fueron modelo atómico, disolución, sal, compuesto y valencia; la media de la prueba fue de 3 puntos sobre 12, máximo que se podía conseguir) y para relacionar los conceptos supuestamente adquiridos (media: 1,25/9,25).

Furió (1983) investiga el concepto de gas, en una muestra de alumnos de 10 a 15 años, comparando las respuestas dadas por los niños al cuestionario que se elaboró a tal efecto y del que hemos recogido en la tarea 12 (item 4). Resulta especialmente interesante la comparación de las ideas de los niños de 10-11 años que aún no han comenzado a estudiar Química, con las de los alumnos de 8º de EGB y de 2º de BUP que si habían estudiado la naturaleza de la materia. De esta comparación, concluye que la instrucción recibida favorece relativamente la ejecución de los alumnos, se obtienen mejores resultados en 8º de EGB (curso en el que se acababan de explicar los temas relacionados con la estructura de la materia) que en 1º y 2º de BUP (curso en el cual aún no se habían explicado tales temas).

Stavy (1988) estudia el concepto de gas en una muestra de 120 alumnos de 9 a 15 años (estudiantes de los grados 4-9, 20 alumnos de cada grado) comparando las concepciones de los más pequeños (grados 4 y 5), que aún no habían recibido instrucción específica, con las de los alumnos de los grados 7, 8 y 9, en los que se explica la teoría atómico-molecular y los tres estados de agregación de la materia. Los resultados demuestran que los estudiantes no utilizan espontáneamente el modelo corpuscular antes de recibir instrucción. Por el contrario, en los grados 8 y 9 comienzan a usar dicha teoría, pero de manera inconsistente, esto es, dependiendo de la tarea que se les proponga. Además, su comprensión de los postulados de dicha teoría es bastante fragmentaria y limitada.

Brooks *et al* (1983) concluyen que, los alumnos que han estudiado las ideas principales sobre la naturaleza de la materia, son más dados a aceptar y a usar estas ideas en la explicación de fenómenos, que aquellos que no las han estudiado; si bien las diferencias entre ambos

grupos no son muy altas (encuentra una diferencia de un 10% aproximadamente). Camaño (1982) encontró también una aceptación acrítica de la discontinuidad de la materia en alumnos de bachillerato a los que se han explicado estos temas.

En otra investigación, Gabel (1987) compara dos grupos de sujetos, uno con estudios específicos de Química y el otro sin ellos. Tras realizar un análisis de varianza, obtiene que la instrucción explica sólo un 4% de la varianza, dato que insiste en destacar por las implicaciones que puede tener para una planificación de la enseñanza.

Respecto al segundo grupo de trabajos, recordemos que su objetivo es comprobar el grado de asimilación, por parte de los alumnos, de un programa concreto de instrucción. En uno de estos trabajos, Nussbaum (1978) estudia el uso que hacen estudiantes israelíes de 14 años del modelo de partículas para explicar fenómenos físicos en fase gaseosa. Previamente se había explicado dicho modelo en un programa titulado "La estructura de la materia". Otro estudio, realizado en Escocia (citado en Driver, 1985) evaluó el grado en el que 1000 alumnos escoceses de 12-13 años aplicaban (y habían comprendido) las ideas del modelo de partículas que se habían incluido dentro del Plan Escocés de Ciencias Integradas. Por último, un tercer estudio, realizado en los Estados Unidos en 1982, citado por Nussbaum (1985), con una muestra de niños americanos de 12 años cuyo objetivo era seguir el cambio conceptual de los alumnos a lo largo de una unidad didáctica programada previamente.

En relación con los resultados obtenidos por estos programas de instrucción, los dos primeros estudios no aportan datos que permitan determinar directamente la influencia del programa seguido. No obstante, Nussbaum (1978) obtiene un porcentaje elevado (en relación a los datos obtenidos por otros estudios) de alumnos que emplean espontáneamente el concepto de partícula. Este alto porcentaje podría deberse a que los estudiantes acababan de terminar el programa en el momento de ser evaluados. Esta hipótesis estaría de acuerdo con las opiniones de Driver (1985) y Camaño (1982), a las que ya hicimos referencia, sobre la mayor tendencia a aceptar y aplicar de modo acrítico las ideas proporcionadas por la instrucción. El tercer estudio indica que los alumnos no abandonan sus concepciones previas y que tienden a asimilar la información nueva a las mismas, construyendo así unas "ideas mixtas" en las que se mezcla su punto de vista y el del científico.

De este modo, en opinión de los autores, esas fuertes preconcepciones le ayudan a adquirir los nuevos conocimientos, aunque en este período que, probablemente, inicia el camino hacia el cambio conceptual, el significado científico de dichos conocimientos quede desvirtuado.

En resumen, y a modo de conclusión, podemos decir que existen datos contradictorios respecto a si la instrucción modifica las ideas de los alumnos sobre la naturaleza de la materia, acercándolas a las concepciones científicas, pero, en general, podemos afirmar que *no existen diferencias importantes entre los alumnos que han recibido instrucción y los que no lo han hecho*. Esto es un dato muy a tener en cuenta a la hora de planificar los futuros currículos de Ciencias, ya que no parece que el deseado cambio conceptual pueda lograrse en un número limitado de sesiones, sino que parece ser un cambio a largo plazo que sólo cobra sentido dentro de un currículo vertical.

c) Evolución de las ideas del alumno sobre la estructura de la materia

El análisis de los diferentes estudios (Novick y Nussbaum, 1981; Nussbaum, 1985; Driver, 1985; Dickinson, 1987) pone de manifiesto dos puntos importantes sobre la evolución de las ideas de nuestros alumnos. A medida que aumenta la edad y el nivel de instrucción, las concepciones de los alumnos se van asemejando a las de los científicos. En segundo lugar, hacia los 12-13 años, coincidiendo generalmente con el inicio de la instrucción en química, los alumnos son capaces de utilizar (y, de hecho, lo hacen) las partículas para explicar de qué está hecha la materia. No obstante, esto no quiere decir que se comprenda la discontinuidad de la materia, de hecho, hay aspectos de la teoría atómico-molecular (como el vacío entre las partículas, el movimiento intrínseco de las mismas, etc) en los que el estudiante de enseñanza secundaria demuestra una considerable falta de comprensión, así como una visión continua y estática de la materia que, en ocasiones, como hemos visto, se observa hasta en estudiantes universitarios.

4.1.3 Características que el alumno atribuye a las partículas

En el apartado anterior hemos comentado algunos estudios que han investigado si el alumno utiliza el concepto de partícula o no para explicar diversos fenómenos. Como ya hemos dicho, adoptar una concepción discontinua de la materia sería el primer paso hacia la comprensión de la teoría atómico-molecular. Lo que a continuación vamos a plantear supone un paso más. Una vez que nuestros alumnos han adquirido una visión discontinua de la materia, ¿qué grado de comprensión de los postulados de dicha teoría tienen?, ¿poseen concepciones previas que influyan, positiva o negativamente en esa comprensión?, ¿en qué medida se asemeja o se diferencia el modelo corpuscular del alumno del modelo científico?. Intentaremos responder estas preguntas presentando el modelo atómico-molecular de muchos alumnos de enseñanza secundaria. Para ello, tras revisar la literatura especializada, hemos recogido en la tabla 4.2 las principales propiedades o concepciones alternativas que los alumnos atribuyen a las partículas. En la tabla 4.3 compararemos estas ideas de los alumnos con las que citábamos en la tabla 4.1 (ideas que debían haber sido adquiridas tras la enseñanza secundaria obligatoria).

TABLA 4.2

Principales concepciones alternativas de los alumnos sobre las partículas

1. Atribuirles características animistas.
2. No están en continuo movimiento.
3. No hay vacío entre las partículas.
4. Atribuirles propiedades macroscópicas.
5. Alteraciones en la distribución, proximidad y orden de las partículas.
6. No pesan.
7. Dependen de la sustancia u objeto del que forman parte, por lo que poseen las mismas propiedades del sistema. (Así, si aumenta el volumen total, aumenta el volumen de cada partícula).
8. No se conserva la forma, el tamaño o el número de partículas.
9. No interaccionan.
10. Creación de fuerzas que explican el comportamiento de las partículas.

TABLA 4.3**Las partículas desde el punto de vista de la teoría de partículas**

- Entre las partículas no hay nada
- Están en continuo movimiento
- Las partículas de una misma sustancia, conservan tanto su número, como su tamaño o su forma.
- En los gases, las partículas están desordenadas, distribuidas por todo el recipiente y se mueven con gran rapidez.
- En los líquidos, la velocidad de las partículas es inferior, están menos separadas y menos ordenadas,
- En los sólidos, vibran, están muy ordenadas y próximas.
- Las partículas pesan.
- En una reacción química, las partículas de los reactivos, interaccionan.

Las partículas desde el punto de vista del alumno

- No hay vacío entre las partículas (hay aire, agua, calor, etc.).
- No están en continuo movimiento.
- No conservan la forma, el número y/o el tamaño de las partículas. Les atribuyen propiedades macroscópicas.
- Se altera o confunde, distribución, proximidad, orden, tipo de movimiento de las partículas de sólidos, líquidos y gases.
- Las partículas no pesan.
- En una reacción química, partículas no interaccionan.

Antes de pasar a comentar cada una de esas concepciones alternativas, debemos señalar que no necesariamente encontraremos todas ellas en un mismo alumno, habrá quien, por ejemplo, no conserve el tamaño o la forma de las partículas cuando se calienta una sustancia, pero que asegure que las partículas están en continuo movimiento. Es

decir, estas concepciones alternativas son independientes unas de otras. Dependiendo de la tarea y del individuo que examinemos no aparecerán, aparecerán algunas o todas. De ahí, que numerosos autores estén de acuerdo en señalar esta falta de consistencia de las respuestas de los alumnos (Gabel, 1987; Stavy, 1988).

Las concepciones alternativas que con más frecuencia se han encontrado son las siguientes:

a) Atribución de características animistas

Consiste en atribuir características humanas o de los seres vivos, en general, a las partículas. De acuerdo con estas ideas, que se encuentran fundamentalmente en los alumnos más pequeños (10-12 años) (Llorens, en prensa; Nussbaum, 1985) las partículas podrían, por ejemplo, pelearse, comerse unas a otras, etc. Aunque algunos autores (Driver, 1984 y Nussbaum, 1985) hacen referencia a ella en trabajos realizados con alumnos de 15 años, el tanto por ciento que mantiene estas concepciones es bajo.

b) Las partículas no están en continuo movimiento

Esta idea, junto a la atribución de propiedades macroscópicas, la no conservación del tamaño, forma y número de las partículas y la ausencia de la noción de vacío, es la más señalada en los diferentes estudios revisados (Nussbaum, 1985; Novick y Nussbaum, 1981; Shepherd y Renner, 1982; Furió, 1983; Driver, 1984 y 1985; Gabel, 1987; Llorens, en prensa; Stavy, 1988). Por tanto, parece que el movimiento intrínseco de las partículas es una idea poco asimilada.

Furió (1983) analiza en uno de los items del cuestionario que utilizó para estudiar el concepto de gas en alumnos de 10 a 15 años (tarea 12) en qué grado se aceptaba el movimiento caótico de las partículas de un gas. Encuentra que 7 de cada 10 niños aceptan dicho movimiento. Este dato se contrapone con los aportados por Novick y Nussbaum (1981), quienes en el TAP (Test About Particles) piden a sus sujetos (576 alumnos de diversos grados, cuya edad oscila entre los 10 años y los 22) que expliquen por qué las partículas de un gas encerrado en un recipiente no se quedan en el fondo del mismo. Los resultados indican una persistencia de la visión continua de la materia. Hay un notable aumento, a medida que aumenta el nivel de instrucción, en el porcentaje

de alumnos que atribuyen la distribución uniforme de las partículas al movimiento intrínseco de las mismas. Sin embargo, encuentran que, incluso en los niveles preuniversitarios y universitarios, el tanto por ciento de sujetos que eligen esta respuesta no alcanza el 50%. Concluyen que los bajos porcentajes de respuestas correctas son debidos a la persistencia de un modelo estático de la estructura de la materia, frente al modelo dinámico que se les ofrece en la clase de Ciencias.

Nussbaum (1985) cita un estudio llevado a cabo en Israel, en 1978, con estudiantes de 14 años, uno de cuyos objetivos es comprobar la comprensión del movimiento intrínseco de las partículas de un gas, incluso cuando no se ejercen fuerzas externas que varíen las condiciones de presión, volumen y temperatura del sistema. Encuentran que sólo un 50% de los alumnos que usaban el modelo corpuscular (aproximadamente un 40% de la muestra) sugería el movimiento continuo de las partículas. Estos datos adquieren aún mayor relevancia si tenemos en cuenta que los sujetos acababan de estudiar los temas relativos a la estructura de la materia.

Brook *et al* (1983) encuentran, al pasar la tarea núm. 13, entre las ideas alternativas (empleadas por un 30% de la muestra) que las partículas no siempre están en movimiento (por ejemplo, para algunos, cuando el balón se enfría, las partículas no se mueven; para otros, sólo se mueven hasta que llegan a una temperatura de cero grados) y que se confunde el tipo de movimiento de las mismas en función del estado en que se encuentre el objeto: sólido, líquido o gas (ver tarea 14).

Shepherd y Renner realizan un estudio con 135 alumnos (74 de 16 años y 61 de 18 años) a los que pide que expliquen por qué los sólidos mantienen una forma independiente de la del recipiente que los contiene, a diferencia de lo que ocurre en los líquidos y los gases. Los resultados indican que sólo un 5% del total (7 alumnos, de los cuales 5 tenían 18 años) explicaba el fenómeno teniendo en cuenta el movimiento de las partículas.

Por otro lado, Llorens (1988) señala el alto grado de familiaridad del alumno con el modelo corpuscular dinámico. Según este autor, muchos fenómenos cotidianos para el alumno van acompañados de movimiento desordenado de porciones macroscópicas de materia (fuego, humo, vapores, ...), a pesar de lo cual, encuentran dificultades, como hemos visto, para asimilar esta idea.

c) Concepto de vacío

Son muchos los autores que ofrecen datos en sus investigaciones sobre este aspecto de la teoría atómico-molecular, probablemente porque es uno de los que presentan mayores dificultades a los alumnos (Nussbaum, 1985 y Stavy, 1988). Repasaremos brevemente algunos de los estudios que se han encargado de examinar la noción de vacío.

Novick y Nussbaum (1981) preguntan a sus alumnos (576 estudiantes con edades comprendidas entre los 10 y los 22 años) qué hay entre las partículas de un gas. Obtienen un 20% de alumnos de primaria y secundaria (10-16 años, aproximadamente) que afirman que hay vacío entre las partículas, porcentaje que aumenta a un 37% en los alumnos preuniversitarios y universitarios. Para ellos, el hecho de que un 60% de los alumnos mayores de 15 años no dibujen espacios vacíos entre las partículas de un gas, revela la existencia de una fuerte preconcepción sobre la estructura de la materia, que es vista de nuevo, como un medio esencialmente continuo.

Nussbaum (1985) concluye que un 45% de los alumnos que empleaban ideas correspondientes al modelo corpuscular (35% de la muestra total) explicaba que existía vacío entre las partículas, un 16% no estaba seguro de la naturaleza de este vacío y sólo lo afirmaban si se les forzaba durante la entrevista.

Stavy (1988) opina, coincidiendo con Nussbaum, que los aspectos de la teoría corpuscular peor asimilados por los alumnos son aquellos que se separan más de sus concepciones previas sobre la naturaleza de la materia. Estos aspectos, para ellos, son: el espacio vacío entre las partículas, el movimiento intrínseco de las mismas y la interacción entre las partículas. Brook *et al* (1983) también citan la ausencia de la noción de vacío entre las concepciones alternativas que identifica en sus investigaciones.

Llorens (1988 y en prensa) encuentra que sólo un 22% de los 606 alumnos valencianos de 10 a 16 años que componen su muestra acepta la idea de vacío. En el análisis de los datos que realiza, señala la posible correlación entre la aceptación de esta idea y el uso correcto de otras ideas correspondientes al modelo corpuscular.

Furió (1983) estudia si el modelo de gas de sus sujetos admite la existencia de huecos o, por el contrario, se trata de un "modelo compacto de partículas". Según sus resultados, la mayoría de los estudiantes se

inclina por la existencia de huecos, si bien un 40% mantiene un modelo continuo.

Puesto que parece que un gran número de los sujetos estudiados cree que entre las partículas no hay vacío, ¿qué es lo que piensan que hay entre ellas?. Las respuestas que los alumnos dan a esta pregunta son muy variadas. En la tabla 4.4 recogemos algunas de estas concepciones alternativas a la idea de vacío, así como algunas de las tareas en las que se han detectado.

TABLA 4.4

Concepciones alternativas a la idea de vacío

Concepciones alternativas a la noción de vacío.	Ejemplos de tareas en las que se han detectado estas concepciones.
Entre las partículas, hay:	
-Aire	-Tarea 3, tomada de Nussbaum, 1985. -Tarea 3, tomada de Brooks, Briggs y Bell, 1983.
-Otras partículas	-Tarea 3 -Tarea 14, tomada de Brooks, Briggs y Bell, 1983. -Tarea 12 e, tomada de Furió, 1983.
-Gases	-Tarea 3 -Tarea 44, tomada de Llorens, en prensa.
-Una sustancia muy ligera	-Tarea 44.
-Gérmenes, polvo, suciedad	-Tarea 3.

d) Atribución de propiedades macroscópicas

Esta es otra de las ideas que caracteriza el modelo corpuscular de muchos alumnos (1 de cada 4, según los estudios realizados por Brook *et al* (1983)). Consiste en atribuir a las partículas propiedades

del mundo macroscópico. Así, según ellos, las partículas se derriten, se hinchan, aumentan de volumen al aumentar la temperatura, etc. Este tipo de ideas son frecuentes cuando les pedimos que expliquen fenómenos cotidianos, tales como la fusión de un bloque o un cubito de hielo, la evaporación del agua, la condensación de la misma, la dilatación de las ruedas de un coche después de un largo viaje, etc. También resultan frecuentes en tareas de representación como los items del test diseñado por Gabel (1987)¹. Por tanto, podemos decir que la visión discontinua de estos alumnos es relativa, puesto que a pesar de hacer referencia a las partículas para explicar tales fenómenos, al aplicar al mundo microscópico propiedades correspondientes al mundo macroscópico demuestran depender de lo perceptivo, lo que está íntimamente ligado con una visión continua de la materia (Nussbaum, 1985; Brook *et al* (1983); Driver, 1985; Gabel, 1987, Llorens, 1988).

Llorens (1988) parece señalar una cierta correlación entre modelos corpusculares incorrectos y explicaciones macroscópicas, es decir, que, según esto, la atribución de propiedades macroscópicas a las partículas, indicaría la incomprensión del modelo corpuscular, lo que, a primera vista, parece evidente.

Para Nussbaum (1985) estas ideas del alumno son debidas a que, para interpretar las propiedades de la materia, se espera que abandone un modelo basado en lo perceptivo, en favor de un modelo abstracto, el desarrollado por los científicos.

TABLA 4.5

Algunas tareas en las que los alumnos han dado explicaciones macroscópicas

-Tarea 13	-Brooks, Briggs y Bell, 1983
-Tarea 14	-Idem.
-Tarea 12e	-Furió, 1983.
-Tarea 32b	-Llorens, 1988.
-Tarea 16	-Gabel, 1987.
-Tarea 37	-Brooks, Briggs, Bell y Driver, 1984.

¹Ver en el apéndice, Tarea 16.

e) Confusión respecto a la distribución, proximidad y orden de las partículas en los sólidos, líquidos y gases

Otros aspectos de la teoría atómico-molecular en los que los alumnos demuestran una falta de comprensión son la proximidad, orden, y distribución de las partículas en los sólidos, los líquidos y los gases. La mayoría representa las partículas de los sólidos ordenadas, a diferencia de lo que ocurre con las de los líquidos y los gases. Sin embargo, si nos fijamos en la separación o distribución de las partículas en los tres estados, comprobamos que muchos no mantienen la proporción correcta. Así por ejemplo, en un estudio realizado con una muestra de 1000 estudiantes escoceses de 12-13 años citado en Driver, 1985, la razón de separación de las partículas de sólidos, líquidos y gases empleada por los alumnos es 1:2-3:5-8 (frente a la correcta desde un punto de vista científico 1:1:10) . Parece que la separación entre las partículas de los gases tiende a ser infravalorada mientras que en los líquidos se sobreestima.

Driver (1985) señala también, la fuerte asociación que encuentra entre la separación de las partículas y la temperatura (si aumenta la temperatura, aumenta la separación), así como la escasa referencia que hacen los alumnos a las fuerzas de cohesión entre ellas. En los sólidos, sólo unos cuantos tuvieron en cuenta en sus explicaciones la acción de dichas fuerzas de cohesión y la energía de movimiento de las partículas.

Gabel (1987) ha elaborado un test (ver tarea núm. 16) para investigar las representaciones de los sujetos sobre la naturaleza discontinua de la materia. Para corregir dicho test, selecciona nueve criterios, tres de los cuales son la distribución, la proximidad y el orden de las partículas. Los resultados del grupo al que pasó el test (profesores de enseñanza primaria) revelan que un 50%, no tenía en cuenta el orden de las partículas a la hora de representar las diferencias entre los tres estados: sólido, líquido y gas. Observó una tendencia a dibujar las partículas ordenadas, independientemente del estado en el que se encontraran.

Algunos alumnos (Brook *et al*, 1983) confunden el tipo de movimiento de las partículas: en los sólidos se mueven y en los líquidos y gases, vibran. Esta confusión induce errores en la distribución, proximidad y orden de las partículas.

Nussbaum (1981) utiliza las tareas 1 a 8 para comprobar si, los sujetos experimentales, eligen un dibujo en el que las partículas están

correctamente distribuidas o no. En los resultados distingue dos tipos de concepciones alternativas: "las partículas restantes se concentran en la parte inferior del recipiente" y "las partículas se concentran en la parte superior". La primera supone entender el proceso de extracción de aire de modo semejante a lo que ocurre cuando vertemos parte de un líquido de un recipiente a otro. Esta concepción predominaba entre los alumnos más pequeños (10-11 años aproximadamente). Ambas concepciones indican una visión continua y estática de la materia, puesto que no se utiliza el movimiento continuo de las partículas para obtener una distribución uniforme. Aproximadamente, un 30% de los alumnos de 14-15 años y un 10% de los preuniversitarios y universitarios mantuvieron estas concepciones alternativas.

En la tarea núm. 3, Nussbaum, encontró que, sólo un 30-40% de la muestra optó por un dibujo en el que la distribución de las partículas fuera correcta. El cambio perceptivo que supone el aumento de volumen del globo lleva a interpretar, a la mayoría de los sujetos, que, dicho aumento, es producido por una transferencia total o de una gran mayoría de partículas del matraz al globo, olvidándose de mantener una distribución uniforme de las mismas.

En definitiva, la dificultad de un buen número de sujetos estriba en no entender las diferencias entre los sólidos, los líquidos y los gases a nivel microscópico y, por consiguiente, no entender las consecuencias que tales diferencias tienen a nivel macroscópico. En nuestra opinión, esto puede explicar, en gran parte, muchos de los problemas que tienen los alumnos para comprender otras nociones como por ejemplo, los cambios de estado.

f) Las partículas no pesan

Algunos autores (Llorens, en prensa; Nussbaum, 1985) encuentran entre los estudiantes la idea de que las partículas no pesan. Esta idea ha sido identificada, fundamentalmente, en tareas relativas a gases, por lo que pensamos que su origen puede ser otra concepción alternativa, citada muy a menudo, la ingravidez de los gases (Seré, 1985; Brook *et al*, 1983; Nussbaum, 1985; Furió, 1983; Stavy, 1988). Para muchos niños, el aire, gas prototípico, no pesa y, por tanto, por extensión, los gases no pesan. Sería interesante comprobar si esta idea de ingravidez de las partículas se mantiene en tareas sobre sólidos y líquidos.

g) Las partículas dependen de la sustancia u objeto del que forman parte, consecuentemente poseen las mismas propiedades que el sistema.

Esta idea, citada entre otros por Novick y Nussbaum (1981) y Llorens (en prensa), no es sino la consecuencia de atribuir propiedades macroscópicas que el alumno percibe, a las partículas, pero a un nivel microscópico. Estos alumnos, que, en principio, parecen haber asimilado la naturaleza discontinua de la materia, no distinguen ambos niveles. No parecen ser capaces de superar los límites perceptivos y aplican a lo microscópico las propiedades de los objetos y de las sustancias. Así, si aumenta el volumen de un gas, aumenta el volumen de las partículas. Como vemos, esta idea está íntimamente relacionada con los problemas de conservación.

h) Problemas relacionados con la conservación de las partículas.

Las nociones de conservación parecen estar detrás de muchas de las concepciones alternativas encontradas en los alumnos (véase al respecto el punto 3.3. de la Memoria). Distinguiremos dos tipos de tareas en las que se han identificado esas concepciones: tareas de representación y tareas de explicación.

Denominamos tareas de representación a aquellas en las que se pide al alumno que dibuje o represente *gráficamente* de algún modo las partículas. En este tipo de tareas encontramos errores en la conservación del número, el tamaño y la forma de las partículas. Como ejemplo de este tipo de tareas recogemos algunos items del test de Gabel (1987) y de Llorens (1988) (ver tareas 16 y 32). Llamamos tareas de explicación a aquellas en las que se pide a los alumnos que expliquen *verbalmente* (ya sea de manera oral o escrita) determinados fenómenos. Uno de los más estudiados es la disolución de azúcar en agua (Piaget e Inhelder, 1941; Driver, 1985).

Los errores encontrados en el primer grupo de tareas, sobre todo en relación al tamaño y forma de las partículas, parecen ser una vez más, consecuencia de atribuirles propiedades macroscópicas. En relación con el segundo grupo de tareas, utilizaremos las ideas de Piaget y sus experimentos como eje para comentar e integrar, en la medida de

lo posible, los resultados obtenidos en otros estudios realizados sobre el tema que nos ocupa.

Piaget habla de dos esquemas evolutivos que, juntos, contribuyen a la conservación de la materia: La capacidad general para multiplicar relaciones (compensación multiplicativa) y el esquema de atomismo:

“... La creencia en la conservación se hace más probable cuando el niño puede concebir la arcilla como un todo compuesto por pequeñas partes o unidades que simplemente cambian su ubicación relativa, cuando el todo sufre una transformación de forma. La conservación de la materia, es aquí, la expresión del hecho de que la suma total de estas partes permanece idéntica, cualquiera que sea su distribución espacial...” (Flavell, 1963).

Para comprobar todo esto, realiza un estudio con 100 niños de 4 a 12 años en el que se colocaban ante el sujeto dos vasos idénticos que contenían la misma cantidad de agua, y con una balanza se demostraba que pesaban lo mismo. El experimentador introducía dos o tres trozos de azúcar en uno de los vasos y marcaba la altura hasta la que se había elevado el agua. Se realizaban una serie de preguntas al niño, antes y después de que los trozos de azúcar se hubieran disuelto en el agua, cuya finalidad era determinar qué propiedades del azúcar permanecían invariables: su sabor dulce, su peso, su volumen, etc. Los resultados revelan la existencia de varias etapas en la adquisición correcta de estas nociones. En una primera etapa, los niños más pequeños piensan que, al disolverse, el azúcar desaparece por completo. Driver (1985) obtiene este tipo de respuestas en niños de 12 años. Según esta autora, esta respuesta sugiere consideran que el azúcar está definida por sus propiedades macroscópicas, por ello, cuando el azúcar cambia de forma, “ya no hay azúcar”.

La segunda etapa que distingue Piaget es compleja y comprende diversas fases de transición. Su criterio esencial es la afirmación de que “la existencia del azúcar” ha permanecido invariable después de que ésta se ha disuelto (Flavell, 1963). El azúcar aún existe como partículas muy pequeñas, invisibles, difundidas en el agua. Esta creencia en la existencia continua del azúcar en forma de granos microscópicos, no conlleva la conservación del peso y el volumen. Los niños de esta segunda etapa suponen que los pequeños granos de azúcar, por su mismo tamaño diminuto, no están dotados de peso ni de volumen (Flavell,

1963). Se estudiaron también las nociones de conservación del peso y el volumen. En este caso, cuestionó a los sujetos sobre un grano de maíz que, al calentarse, aumenta su volumen, pero no su peso.

De ambos estudios, Piaget concluye que al principio, el niño no tiene un concepto de materia, peso o volumen definido, sino uno indiferenciado que unifica a los tres. Poco a poco, a medida que el niño se va desarrollando, cada uno de esos tres conceptos se diferencia y se independiza de los demás poco a poco: primero, la masa, después el peso, y por último, el volumen. Para conseguir las nociones de peso y volumen es condición necesaria comprender la naturaleza discontinua de la materia. Es la comprensión de esta noción, la que va a llevar al niño a conseguirlas. Esta adquisición se produciría en la misma época en la que el adolescente comienza a ser capaz de dominar los problemas de volumen (12 años). Sin embargo, como hemos visto en muchos de los trabajos que hemos venido citando (Novick y Nussbaum, 1981; Nussbaum, 1985; Stavy, 1988; Brook et al, 1983; Driver, 1985) un porcentaje elevado de alumnos no lo hace.

En nuestra opinión, habría que matizar la idea de que la visión discontinua de la materia es condición necesaria para adquirir las nociones de conservación de peso y volumen. Probablemente, esto sea cierto para la consecución de las conservaciones no observables, pero no para las observables. Así, si planteamos a alumnos de 14-15 años las tareas clásicas piagetianas de conservación de la masa, el peso y el volumen (tareas en las que las transformaciones pueden ser percibidas por el sujeto, conservaciones observables) habrá una alta probabilidad de que conserve la masa, el peso, y quizás también el volumen, pero si los enfrentamos a una tarea como por ejemplo, la número 17 (ver apéndice) las dificultades aumentarán considerablemente. Así, por ejemplo, en un estudio realizado con una muestra de estudiantes suecos e ingleses de 15 años (Driver, 1985) en el que la tarea que tenían que realizar los sujetos era predecir la masa total de una disolución de agua y azúcar, conociendo la masa inicial del agua y del azúcar el 50% de los sujetos aseguraban que la masa total de la disolución sería inferior a la de la suma del agua y del azúcar, por las siguientes razones:

- El azúcar desaparece cuando se disuelve (etapa 1 de Piaget).
- Se confunde masa y volumen; habría menos masa, porque aumenta el nivel de agua al echar el azúcar. Este razonamiento lo utilizan también estudiantes que emplean ideas corpusculares en

su explicación, parece ser que se ha adquirido la discontinuidad de la materia, pero no las nociones de conservación del peso y el volumen. Esto más bien indicaría que la discontinuidad de la materia podría ser, en todo caso, una condición necesaria, *pero no suficiente*, para la adquisición de la conservación del peso y el volumen. En cualquier caso, todas estas conclusiones son solamente hipótesis que habría que comprobar experimentalmente.

- El azúcar está presente pero pesa menos. El peso del azúcar, para estos niños, es mayor cuando está en estado sólido que cuando está en estado líquido (ausencia de la conservación del peso en una conservación no observable).

Estas respuestas indican que el hecho de que los estudiantes no conserven la masa, no implica que piensen que ha desaparecido, tal como afirma Piaget (Flavell, 1963. Pag. 31).

Finalmente, Driver concluye que, a pesar de los datos obtenidos, los estudiantes tienen la información suficiente o los conocimientos necesarios para conservar la materia, pero que dicha noción es difícil de recuperar de modo inmediato. Por ello, sugiere que sería beneficioso que el alumno tomara conciencia de estas concepciones alternativas como camino para poder modificarlas.

i) Las partículas no interactúan

Esta idea se refiere al modo en que los alumnos interpretan las reacciones químicas en términos corpusculares. En opinión de Gabel (1987), Llorens (1989, en prensa) y Nussbaum (1985) un gran número de alumnos no interpreta las reacciones químicas como interacción de las partículas de los reactivos (ver apartado 4.3.4).

Nussbaum (1985) obtiene que sólo un 50% de los sujetos que emplean términos corpusculares (aproximadamente un 40% de la muestra), explica la formación de cloruro de amonio como combinación (no interacción) de las diferentes partículas. Además sólo se consiguen este tipo de explicaciones "forzando" la respuesta del sujeto. Esto indica, que una proporción importante, no ha interiorizado aspectos importantes de la teoría atómico-molecular, presentan una visión continua y estática de la materia.

j) Creación de fuerzas que explican el comportamiento de las partículas.

Brook *et al* (1983) señalan, entre las concepciones alternativas detectadas en los alumnos, la existencia de fuerzas entre las partículas. Tales fuerzas varían con la temperatura. Son utilizadas como explicaciones "ad hoc", por lo que el modo de utilizarlas depende de la tarea en la que se examine el comportamiento del sujeto. Así, para algunos, al aumentar la temperatura aumentan las fuerzas entre las partículas, mientras que, para otros, un aumento de temperatura supone un debilitamiento de las fuerzas (por ejemplo, explican así la fusión del hielo). Encuentran estas concepciones en el 25% de su muestra (300 estudiantes ingleses de 15 años) que da respuestas incompletas o no aceptadas. Llorens (en prensa) encuentra también este tipo de explicaciones en alumnos de 12 a 16 años.

4.1.4 Algunas explicaciones posibles de las ideas del alumno sobre el concepto de partícula.

En este apartado, sugeriremos, algunos de los posibles orígenes de estas concepciones alternativas detectadas en un elevado porcentaje de alumnos del ciclo 12-16. En nuestra opinión, se pueden identificar tres grandes fuentes en el origen de las ideas de los alumnos, que se corresponden, a grandes rasgos, con los tres tipos de concepciones alternativas descritos en el capítulo 2 (apartado 2.3.): las concepciones inducidas, las concepciones espontáneas y las concepciones analógicas.

a) Concepciones inducidas a través del lenguaje: ambigüedad del término partícula

Una de las posibles fuentes, relacionada con las ideas inducidas a través del lenguaje y las representaciones sociales (véase el capítulo 2) es el propio lenguaje utilizado para representar los conocimientos químicos, que parece ser ciertamente ambiguo en algunos casos. Esta ambigüedad se observa tanto en el lenguaje químico como en el cotidiano, aunque con características bien diferenciadas:

1) En el lenguaje químico.

En el lenguaje químico encontramos que la palabra "partícula", se emplea con diversas connotaciones y diferente significado. Para comprender correctamente conceptos químicos básicos, tales como átomo, compuesto, sustancia pura, mezcla, disolución, etc., es esencial conocer en qué sentido emplean el profesor o el libro de texto dicho término. Por ejemplo, identificar los términos "partícula" y "átomo" conduce a errores y malentendidos dado el carácter polisémico del término "partícula" como puede verse en la tabla 4.6, en la que hemos recogido algunos de los diferentes significados de estos conceptos químicos.

2) En el lenguaje cotidiano.

Se ha sugerido que las connotaciones cotidianas del término "partícula" (tales como polvo, humo, suciedad) pueden influir en la adquisición de dicho concepto químico, o bien interferir en su comprensión una vez que ya ha sido presentado al alumno en la enseñanza (Appleton, 1984; Brook *et al*, 1983; Llorens, en prensa). Este último autor está de acuerdo con Ben Zvi, Seylon y Silberstein (1982) en la distinción que dichos autores hacen de tres niveles de descripción, en relación con el desarrollo de los conceptos de estructura y proceso de aprendizaje de la teoría atómico-molecular: fenomenológico (basado en la realidad perceptible), atómico-molecular (basado en el comportamiento de átomos y moléculas) y multiatómico (basado en el comportamiento de las colectividades de partículas). Para ellos, las dificultades surgen de: la naturaleza abstracta de los conceptos involucrados, la exigencia de operar simultáneamente en los tres niveles y la necesidad de precisión en el lenguaje empleado. Para Selley (1982), citado en Llorens (1988), el origen de las dificultades se debe, además, a la ausencia de distinción entre los niveles de descripción y a que, dichos niveles, no tienen un reflejo lingüístico adecuado.

TABLA 4.6

Concepto	Significado de la palabra partícula
Atomo	Partícula = Atomo
Elemento	Partículas = átomos de una misma clase.
Compuesto	Partícula = átomos de distinta clase.
Sustancia pura	Las partículas pueden ser -Átomos, si se trata de un elemento. -Moléculas, si se trata de un compuesto.
Mezcla	Las partículas pueden ser -Átomos y/o -Moléculas
Disolución o mezcla homogénea	Las partículas pueden ser -Átomos y/o -Moléculas.
Mezcla heterogénea	Las partículas pueden ser -Átomos y/o -Moléculas.

b) Concepciones espontáneas: influencia de la percepción.

De todo lo anterior, se desprende la idea de que el modelo corpuscular del alumno está dominado fundamentalmente por lo perceptivo. Comprender la teoría atómico-molecular supone abandonar un modelo estático y continuo, que es lo que se percibe, para pasar a un modelo abstracto en el que la mayoría de los postulados son imperceptibles (Brook *et al*, 1983; Stavy, 1988; Nussbaum, 1985; Llorens, en prensa). De hecho, las ideas de los alumnos sobre la naturaleza de la materia, que hemos revisado con detalle, son un claro ejemplo de la influencia sensorial en las ideas de los alumnos, a cuyo significado hemos dedicado varios apartados de esta Memoria (esencialmente puntos 2.3.1. en relación con la comprensión de la ciencia en general y más específicamente

el punto 3.1. para la química). Creemos que ya hemos hecho suficientes referencias en los apartados anteriores a esta idea, por lo que remitimos a ellos para no reiterarnos. Únicamente, queremos insistir una vez más, en que ésta parece ser una de las fuentes más importantes de las concepciones alternativas que venimos enumerando a lo largo de estas páginas.

c) Concepciones analógicas: modelos y/o representaciones que aprende en la escuela o en los libros de texto.

Un tercer origen posible de las concepciones alternativas, serían los modelos o representaciones que el alumno recibe por medio de la escuela o los libros de texto. Este tipo de concepciones tienen su origen en la formación de modelos por analogía y, en la medida en que dan lugar a ideas científicamente desviadas, podrían deberse a:

- a) Que el alumno asimile erróneamente lo que el profesor le explica y/o lee en los libros de texto.
- b) Que los temas presentados no se adecúen a las características del alumno: nivel de instrucción previo, grado de desarrollo cognitivo, motivación, etc.
- c) Las concepciones alternativas que se pueden encontrar con cierta frecuencia en los libros de texto (véanse como muestra los diversos ejemplos citados por Llorens (1988).

4.2 CONCEPTOS DE ATOMO Y MOLECULA

Una vez que el alumno entiende que la materia está constituida por partículas, ha de dar un paso más que le lleve a discriminar entre ellas, distinguiendo átomo, "*la menor partícula de un elemento que conserva sus propiedades y puede participar en una reacción química*", y molécula, "*la partícula mínima de una sustancia pura que posee la composición y propiedades de dicha sustancia, con existencia independiente*" (Bailar, 1983).

La mayoría de las concepciones alternativas que indicábamos en el apartado 4.1.2 de este mismo capítulo, que caracterizaban la visión que el alumno tiene de las partículas, pueden aplicarse a los conceptos de átomo y molécula. Así, nos encontramos con que los alumnos atribuyen

propiedades macroscópicas a los átomos o moléculas, no conservan el tamaño, número o forma de los mismos, etc.

Los conceptos de átomo y molécula, si bien son citados con frecuencia como conceptos básicos para la comprensión de la teoría de partículas, han sido muy poco estudiados de modo específico. No hay apenas trabajos que investiguen cuál es el concepto de átomo o de molécula de los alumnos de 12 a 16 años, probablemente, porque en estas edades se ha detectado una falta de comprensión de la teoría de partículas, paso previo que el alumno ha de dar antes de poder discriminar si esas partículas son átomos o moléculas. De ahí, que los escasos trabajos que abordan el tema empleen muestras formadas por estudiantes de BUP y en COU. Es el caso de los estudios llevados a cabo por Cross y Chastrette (1988) y Sumfleth (1988).

En ellos se investiga, más que las posibles concepciones alternativas, el grado de conocimientos que el alumno tiene sobre las distintas partes que componen el átomo (núcleo, corteza). No obstante, algunos autores (Caamaño, 1982; Llorens, en prensa; Hierrezuelo, 1988) señalan algunas ideas del alumno que recogemos en la tabla 4.7.

TABLA 4.7

Algunas ideas de los alumnos sobre los conceptos de átomo y molécula

Atomo	Asociación átomo-elemento	Caamaño, 1982
	Atribución de propiedades macroscópicas	Llorens, prensa
	Persistencia del modelo de Bohr, pese a estudiar otros modelos como el de Schrödinger	Cross y Chastrette, 1985
Molécula	Asociación molécula-compuesto	Caamaño, 1982
	No distinguir átomos y moléculas	Hierrezuelo, 1988
	Atribuir propiedades macroscópicas a las moléculas	Llorens, en prensa Hierrezuelo, 1988
	No utilizar los átomos y las moléculas para explicar las diferencias entre elemento compuesto y mezcla	Hierrezuelo, 1988

Algunas de ellas son de especial relevancia (por ejemplo, la asociación átomo-elemento y molécula-compuesto) y serán tratadas en los apartados correspondientes a los conceptos de elemento y compuesto.

4.3 CONCEPTO DE SUSTANCIA PURA

Según Bailar (1983) podemos definir una sustancia pura como *“la porción de materia que posee idénticas propiedades físicas y químicas, cualquiera que sea su naturaleza”*. A nivel microscópico, definiríamos la sustancia pura como aquella que está formada por partículas (átomos o moléculas) de una sola clase.

Análogamente a lo que ocurría en el caso de los conceptos de átomo y molécula, también en este caso, los trabajos sobre el concepto de sustancia pura se han centrado, sobre todo, en examinar el nivel de conocimientos de los alumnos desde un punto de vista estrictamente disciplinar, más que en analizar su grado de comprensión. A pesar de ello, podemos citar los trabajos de Holding (1985) sobre los conceptos de elemento, compuesto y mezcla, Gabel (1987) y Llorens (en prensa). Los dos primeros estudian, fundamentalmente, tareas con representaciones simbólicas de estos conceptos, que el alumno ha de crear o interpretar.

TABLA 4.8

Algunas ideas de los alumnos sobre el concepto de sustancia pura

Sustancia pura	Identificar sustancia pura y elemento	Holding, 1985
	Atribuir al adjetivo “pura” significado cotidiano o familiar, relacionado con la idea de calidad o de lo saludable. (Por ejemplo, consideran sustancia pura la leche, el aire, etc.)	Llorens, 1987

Las principales concepciones alternativas que se han encontrado en relación con el concepto de sustancia pura (ver tabla 4.8) son:

- a) Identificación de los conceptos sustancia pura y elemento.
- b) Dar al adjetivo “pura” un significado propio del lenguaje cotidiano y no del lenguaje químico.

Holdings (1985) encuentra la primera de ellas en varias tareas que pasa a una muestra de 300 estudiantes de 15 años. Al identificar sustancia pura y elemento (confusión en la que, probablemente, tengan bastante que ver las connotaciones que tales términos tienen en el lenguaje coloquial) se reduce la extensión del concepto sustancia pura, excluyéndose de él los compuestos químicos.

En relación con la segunda, Llorens (1987) realiza dos estudios con alumnos de FP y BUP (182 sujetos en total) en los que observa las connotaciones que sugieren a los alumnos las palabras pura, elemento, mezcla, etc. En uno de ellos, utiliza la técnica de asociación libre (el sujeto ha de escribir todas las palabras que relaciona con la que se le da) mientras que en el otro, pasa un cuestionario de lápiz y papel con preguntas cerradas. En el realizado con la técnica de asociación libre, obtiene que el adjetivo "pura" connota limpieza, carácter saludable, natural, o bien, ausencia de alteraciones y de contaminación en un producto (ver figura 4.2).

FIGURA 4.2

Errores conceptuales generados por algunas acepciones ordinarias en el uso del adjetivo "pura" por alumnos de FP y BUP

<p>• Uso del adjetivo "pura" Algunas ideas detectadas a través de pruebas de asociación libre de ideas</p>	<p>Experiencia con una muestra representativa (N=606) Alumnos de EE.MM.</p>
<p>• Limpieza, carácter saludable y natural. . . • Ausencia de alteraciones calidad de un producto. . .</p>	<p>¿Cuál de los siguientes ejemplos corresponde a una sustancia pura? a) Leche recién ordeñada . 19.5% b) Aire 20.5% c) Cloruro de sodio (ejemplo correcto) 53,0%</p>

En estos datos se observa como, frente a un ejemplo de sustancia pura —el cloruro de sodio— ampliamente utilizado en los textos escolares, las acepciones ordinarias son susceptibles de interferir de un modo notable. (Tomado de Llorens, 1987)

En el cuestionario, se examina en qué grado ciertas sustancias (como la leche, el agua, etc.) son o no prototipos de sustancias puras. Parece que la sal (ejemplo correcto) es el mejor prototipo de los que él presentó a los sujetos. Un 40% de los alumnos considera sustancias puras la leche y el aire. Estos datos sugieren que, antes de introducir conceptos como el que estamos comentando, deberíamos conocer los significados que tienen para nuestros alumnos, puesto que de esta manera, podríamos señalarles las diferencias entre el significado coloquial o cotidiano y el significado científico del término.

Sería interesante, en nuestra opinión, realizar nuevos estudios que profundizaran en esta línea de investigación.

4.4 CONCEPTO DE ELEMENTO

Según la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1990), un elemento químico es "*una sustancia constituida por átomos que tienen el mismo número atómico*". De una manera más sencilla, también podemos definirlo como una clase de sustancia que contiene una sola clase de átomos.

Los principales problemas de los adolescentes detectados en relación con este concepto radican en las dificultades que muchos de ellos tienen para diferenciarlo de otros como "compuesto" o "sustancia pura". Con frecuencia, identifican:

- a) elemento y sustancia pura
- b) elemento y compuesto
- c) elemento y átomo

En general, podemos clasificar las concepciones alternativas de los alumnos detectadas en relación con este concepto en dos grandes grupos:

- a) Relacionadas con una concepción prototípica del concepto de elemento, en la que influye notablemente los significados que dicho término tiene en el lenguaje cotidiano.
- b) Debidas a la falta de comprensión de otras nociones elementales de la Química.

Explicaremos, a continuación, cada uno de los dos grupos más detalladamente.

a) Concepción prototípica del concepto de elemento

Los trabajos empíricos llevados a cabo por Llorens (en prensa) y Holding (1985) parecen demostrar la existencia de ciertos ejemplares prototípicos que un porcentaje considerable de alumnos identifican con el concepto de elemento. Algunos de ellos serían el agua o la sal. Los alumnos juzgan si otras sustancias que se les presentan son o no elementos por el parecido o las propiedades comunes que tengan con estos prototipos. Este tipo de respuestas fue obtenido por Holding en la tarea num. 20.

Estos prototipos están indudablemente influenciados por las connotaciones que la palabra *elemento* tiene en el lenguaje cotidiano. Llorens (en prensa) indica, entre otras, las siguientes acepciones (obtenidas en un estudio realizado con adolescentes):

- Elemento como algo simple.
- Elemento como algo puro.
- Elemento como algo único que hace referencia a la unidad.
- Elemento como término que designa a ciertas personas (¡Estás hecho un buen elemento!).
- Elemento como término que corresponde al dominio químico, pero sin el sentido que tiene para un químico.

Holding señala, también, que un elemento es algo natural, puro. Este mismo autor (que denomina a lo que nosotros hemos llamado ejemplares prototípicos, "respuestas intuitivas del alumno") encuentra (ver tarea num. 20) que sólo un 16%, del 42% que realiza la tarea correctamente, utilizó la electrolisis para explicar por qué "X", no es un elemento. También es destacable, en nuestra opinión, que el 60% de los sujetos no contestaron a la pregunta que se les formulaba, o lo hicieron mal, lo que parece indicar que este concepto, que se explica en los cursos de introducción a la Química, no es comprendido por un número bastante alto de sujetos de la muestra (estudiantes ingleses de 15 años).

b) Debidas a la falta de comprensión de otras nociones elementales de la Química

Las tres concepciones que, con más frecuencia, suelen citarse en la literatura especializada son:

- La identificación entre los conceptos elemento y sustancia pura.
- La asociación átomo-elemento (propia de la teoría daltoniana).
- La identificación entre elemento y compuesto.

La primera de ellas ha sido comentada en el apartado dedicado al concepto de sustancia pura (4.3). La asociación átomo-elemento es bastante frecuente y la citan varios autores (Driver, 1984; Llorens, en prensa; Camaño, 1982). Esta asociación crea grandes dificultades al alumno cuando se enfrenta a los elementos poliatómicos. Al haber identificado átomo y elemento, clasifica los elementos poliatómicos como compuestos y no como elementos. Como parece lógico, esta asociación suele ir acompañada, normalmente, de otra entre molécula y compuesto. Son varias las concepciones de estos estudiantes, que les impiden reconocer estos elementos como tales (Tabla 4.9):

TABLA 4.9

**Algunas concepciones alternativas
sobre el concepto de elemento**

Elemento	Identificar los términos "elementos" y "sólido".	Holding, 1985
	No distinguir entre elemento y compuesto, utilizando ambos como si fueran equivalentes.	Holding, 1985 son sustancias puras.
	No considerar las sustancias diatómicas, elementos.	Holding, 1985 Llorens, en prensa.
	Asociar átomo y elemento.	Caamaño, 1982 Llorens, en prensa.
	Su concepto de elemento, se identifica con ciertos ejemplares prototípicos (agua, sal, etc.) cuyas características se generalizan todos los elementos.	Caamaño, 1982 Llorens, en prensa.

- 1) Para ellos, los elementos están formados por “moléculas” de un sólo átomo.
- 2) La idea anterior es reforzada por la connotación de unidad que tiene la palabra elemento en el lenguaje cotidiano.
- 3) Un elemento nunca puede estar formado por moléculas de más de un átomo.

Por último, la equivalencia elemento-compuesto, citada, entre otros, por Holding (1985), Llorens (en prensa) y Caamaño (1982), consiste en clasificar como compuestos las representaciones de sustancias que son elementos. Se ha encontrado en aquellos casos en los que se presentaban al alumno, representaciones gráficas de elementos poliatómicos.

A pesar de todo lo que hemos descrito, el concepto de elemento parece ser más fácil de adquirir que los de compuesto y mezcla. Así, Driver (1984), en la tarea num. 21, (ver Apéndice) encuentra que un 74% de los sujetos identifica correctamente el diagrama correspondiente a un elemento.

4.5 CONCEPTO DE COMPUESTO

Citando de nuevo a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1990) un compuesto químico es “*una combinación química formada por átomos diferentes en proporción invariable*”. En términos quizás más asequibles para los profanos, Bailar (1983) lo define como “*una sustancia de composición definida en la que se combinan dos o más elementos*”. De acuerdo con esta definición, parece evidente que el alumno ha de comprender el concepto de elemento químico si quiere hacer lo propio con el de compuesto.

Este concepto, quizás aún menos estudiado que el de elemento, presenta también dificultades tanto en tareas de representación como en aquellas en las que el alumno ha de emplear “su” concepto de compuesto para explicar lo que se le pide en la tarea.

TABLA 4.10

**Algunas concepciones alternativas
sobre el concepto de compuesto**

		Autor	Ejemplos de tareas en las que se han detectado
Compuesto	Asociación molécula-compuesto	Caamaño, 1982 Llorens, en prensa	
	No considerar que un compuesto tenga una composición fija	Holding, 1985	Tarea 22
	Considerar equivalentes los conceptos: mezcla y compuesto; mezcla homogénea y compuesto	Holding, 1985 Sumfleth, 1988 Caamaño, 1982 Llorens, en prensa	Tarea 20 Tarea 21
	No diferenciar las representaciones de un elemento de las de un compuesto	Holding, 1985	Tarea 21

Las principales concepciones alternativas identificadas (tabla 4.10) son:

- a) **Asociar el concepto de molécula exclusivamente al de compuesto.** Ya comentábamos en el punto anterior, la asociación átomo-elemento que, normalmente, suele ir unida a la de molécula-compuesto. La primera de estas asociaciones, como vimos, explica las dificultades que, habitualmente, los alumnos encuentran para clasificar los elementos poliatómicos como tales elementos. Puede que un posible origen de estas concepciones, propias de la teoría daltoniana, esté en los significados cotidianos de los términos elemento y compuesto. Así, "elemento" se identifica con algo simple, y "compuesto" con algo formado por otras unidades. También la instrucción puede conducir al alumno a asociar los términos citados. La solución de este problema, para Caamaño

(1982), radica en *“la introducción del concepto de estructura gigante a la vez que el de molécula (Nuffield,1972). Se entiende por estructura gigante un conjunto ininterrumpido de átomos de la misma o diferente clase, combinados entre sí, de forma que no pueden diferenciarse unidades discretas. La estructura gigante, es pues un concepto globalizador de los sólidos metálicos, iónicos y reticulares que puede ser utilizado previamente a la clasificación de los sólidos”*. Asimismo se necesitaría, según el mismo autor, *“una aproximación al concepto de fórmula química que deje bien claro que el conocimiento de una fórmula (empírica) no implica conocimiento alguno sobre la estructura de la sustancia”*.

- b) **No considerar que los compuestos químicos tienen composición fija.** Holding (1985) detecta esta concepción alternativa en la tarea num. 22. recogida en el Apéndice. La opción correcta es elegida por un 44% de los sujetos, de los cuales sólo uno de los 20% hace referencia directa a una relación fija entre las cantidades de reactivos que reaccionan. Un 26% elige la opción A, lo que indica que, para estos alumnos, la composición de los compuestos varía de la misma forma que ocurre en las mezclas. Driver sugiere que, tras estas ideas, parece subyacer una visión continua de la materia, lo que, una vez más, explicaría las respuestas de los alumnos. Es evidente que, si no se mantiene un modelo corpuscular de la materia, no puede explicarse por qué no varían las proporciones en que se combinan los elementos para formar un compuesto.
- c) **Utilizar como equivalentes los siguientes pares de conceptos:**

1) **Compuesto y mezcla.**

Sumfleth (1988), Driver (1984), Llorens (en prensa) y Caamaño (1982) coinciden en señalar esta asociación. Caamaño indica como posibles orígenes de esta identificación, dos causas. Por un lado, la falta de adquisición de conceptos operativos de mezcla, sustancia pura, elemento y compuesto, que permitan diferenciar entre los componentes de una mezcla y la descomposición de un compuesto en sus elementos. Por otro, la introducción de forma precipitada de las definiciones con-

ceptuales de la teoría atómica. Así, es frecuente definir, en un principio, un compuesto como una sustancia constituida por átomos de distintas clases, definición que no establece diferencia alguna entre los compuestos y las mezclas. Para que estos problemas puedan ser superados, propone "*una utilización experimental de métodos de separación fijos*" que permita a los alumnos adquirir conceptos operacionales de sustancia pura y mezcla para, en una segunda etapa, distinguir entre elemento y compuesto.

Otra característica común es la tendencia a emplear la palabra "mezcla" en la definición. Holding (1985) distingue tres cambios conceptuales que el alumno ha de conseguir para clasificar la materia. Primero, pasar de considerar que las cosas están hechas de materia inespecífica a que están formadas por sustancias. Segundo, distinguir, entre esas sustancias, sustancias puras y mezclas. Tercero, diferenciar, dentro de las sustancias puras, los elementos y los compuestos.

Sumfleth (1988) encuentra que, en un 40% de los alumnos de su muestra (307 estudiantes alemanes de 16 años, que habían estudiado Química durante dos años), aparece esta identificación de los términos compuesto y mezcla, a pesar del énfasis puesto durante los cursos que recibieron en que tal cosa no sucediera. En resumen, el uso indistinto de los conceptos mezcla y compuesto puede deberse a que, las diferencias entre ambos, no son perceptibles desde un punto de vista macroscópico, sino que lo son a nivel microscópico, lo que nos indica, de nuevo, la importancia de lo perceptivo en las ideas del alumno.

Por otra parte, subyaciendo a esta concepción alternativa, parecen estar, por un lado, dificultades en la comprensión de otros conceptos relacionados con el de compuesto (sustancia pura, elemento, etc) y, por otro, una visión continua de la estructura de la materia.

2) **Compuesto y mezcla homogénea.**

Si distinguir entre los conceptos compuesto y mezcla es bastante difícil para muchos alumnos, esta dificultad aumenta en el caso de las disoluciones o mezclas homogéneas, puesto

que las diferencias a nivel perceptivo son inexistentes. En el caso de las mezclas heterogéneas, los alumnos pueden distinguir sustancias diferentes que pertenecen a fases distintas, *sin embargo*, en las disoluciones no ocurre así. Por tanto, las causas posibles de esta concepción alternativa serían las mismas que hemos citado más arriba: la ausencia de diferencias perceptivas entre compuestos y disoluciones, y una visión continua de la materia que impide a los alumnos representarse estos fenómenos en términos corpusculares.

d) Concepciones alternativas en tareas de representación.

En este tipo de tareas, dos son las más importantes encontradas en nuestra revisión de la literatura especializada:

- 1) No diferenciar las representaciones de elementos poliatómicos de las de los compuestos. Las dificultades con los gases diatómicos serían un ejemplo.
- 2) Identificar las representaciones correspondientes a compuestos y elementos.

Ambas han sido encontradas por Holding (1985) en la tarea num. 20. recogida en el Apéndice. Las respuestas correctas obtenidas en la elección de los diagramas fueron:

- D (mezcla): 39%
- B (compuesto): 43%
- C (elemento): 74%

Según estos datos, el concepto de elemento parece ser el más fácil de identificar, mientras que los conceptos de compuesto y mezcla presentan dificultades a un porcentaje elevado de alumnos. Así, dos de cada cinco (en una muestra de 300 estudiantes ingleses de 15 años de edad, aproximadamente) eligen el diagrama B (compuesto) como ejemplo de mezcla. En total, 1 de cada 3, no elige correctamente ninguno de los diagramas.

De todo ello, Holding concluye que la representación simbólica de estos conceptos crea problemas a un buen número de estudiantes. Habría que continuar investigando en esta línea y comprobar si estas dificultades son debidas exclusivamente

a la falta de comprensión de las representaciones simbólicas, o si se detectan también en otro tipo de tareas, si bien es cierto que las concepciones alternativas detectadas en esta tarea parecen coincidir con las obtenidas en los estudios que hemos comentado más arriba.

4.6 CONCEPTO DE MEZCLA

Bailar (1983) define el concepto mezcla como "*cualquier combinación de dos o más sustancias en la que las sustancias combinadas conservan su identidad*". Hay que distinguir dos tipos de mezclas:

- Mezclas homogéneas o disoluciones: "*mezcla de composición y apariencia uniformes*" (Bailar, 1983).
- Mezclas heterogéneas: "*mezclas en las que las sustancias aparecen separadas físicamente*" (Bailar, 1983).

Estos dos tipos de mezclas presentan problemas diferentes al alumno. Las mezclas heterogéneas, puesto que pueden ser reconocidas fácilmente a nivel macroscópico, no suponen tanta dificultad como las disoluciones (Holding, 1985).

Las concepciones sobre el concepto de mezcla han sido tratadas en el punto anterior relativo a los compuestos químicos (ver apartado 4.5) y las relativas a las disoluciones se tratarán más adelante (capítulo 6).

4.7 RELACIONES CUANTITATIVAS DE LAS PARTICULAS. EL CONCEPTO DE MOL

Como ya hemos expuesto anteriormente (véase el Capítulo 3) consideramos que son tres los grandes problemas en la comprensión de la química: la discontinuidad de la materia, la conservación y las relaciones cuantitativas. En el capítulo anterior hemos hablado sobre el primero de estos grandes problemas, la continuidad/discontinuidad de la materia, hemos descrito las ideas de los estudiantes sobre el concepto de partícula y las dificultades que encuentran en su utilización

para interpretar los fenómenos científicos. En este apartado vamos a tratar sobre el tercer gran problema o núcleo conceptual, las relaciones cuantitativas, haciendo referencia a su relación con el concepto de partícula.

En química, las primeras medidas realizadas fueron medidas de masa y de volumen, estableciéndose con ellas las primeras leyes que permitieron el desarrollo teórico de esta ciencia. Con la introducción de la teoría atómico-molecular, los fenómenos químicos empiezan a interpretarse a nivel microscópico en función de los átomos y moléculas que intervienen, siendo necesario conocer el número de partículas que intervienen en un determinado proceso. El químico necesita, por consiguiente, establecer una relación entre sus medidas realizadas a nivel macroscópico, masa y volumen, y el nivel microscópico, número de partículas, en el que interpreta los procesos. Por ejemplo, necesita conocer el número de moléculas de hidrógeno que intervienen en una reacción, la relación entre la proporción de las masas de los elementos que forman un compuesto y la proporción en que se encuentran los átomos dentro de su molécula, etc.

El problema que se nos plantea, a la hora de establecer las relaciones cuantitativas entre las masas y los volúmenes y el número de partículas implicadas, es que esas partículas son muy pequeñas y no pueden medirse y seleccionarse en pequeñas cantidades, es necesario medir de una vez un número muy grande de ellas. Por ello se introduce el concepto de mol, un concepto químico tan fundamental como las ideas de átomo o molécula.

La palabra mol deriva del latín moles, que significa montón, masa o pila. Lo que indica que, con independencia de la definición de mol que el químico acepte, siempre se ha de pensar en un número concreto de partículas.

En la historia de la química el concepto de mol evolucionó a partir de las leyes de los gases, sufrió varias modificaciones y dió lugar a diversas discusiones sobre su definición y su utilidad (Gower, Daniels y Lloyd, 1977; Dierks, 1981). El mol, unidad en el Sistema Internacional de la magnitud Cantidad de Sustancia, fué oficialmente definido por la IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) en el año 1957 y por la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) en 1967, como:

La cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono-12. Al emplearse el mol debe especificarse el tipo de entidades elementales; estas pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras entidades o grupos especificados de tales entidades.

El mol es un concepto integrador en la historia química, conduce a una simplificación de los cálculos y permite un progresivo abandono de conceptos como normalidad y peso equivalente que resultan ahora obsoletos (Gower, Daniels y Lloyd, 1977).

Errores y dificultades en el manejo del concepto de mol

El concepto de mol es, sin duda, uno de los que más problemas plantea en la enseñanza de la química. Su dificultad es ampliamente reconocida en las numerosas publicaciones a las que ha dado lugar durante los últimos años. Por otra parte, es un concepto imprescindible para el desarrollo de las relaciones cuantitativas en la mayoría de los temas de química (ver Figura 4.3).

FIGURA 4.2

Relación del concepto de mol con otros conceptos y áreas de la química

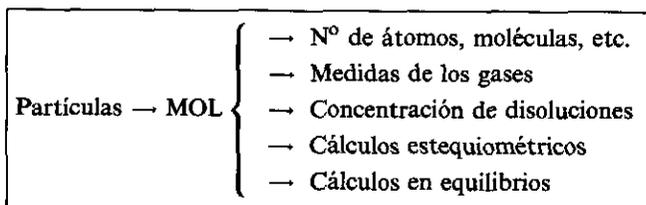
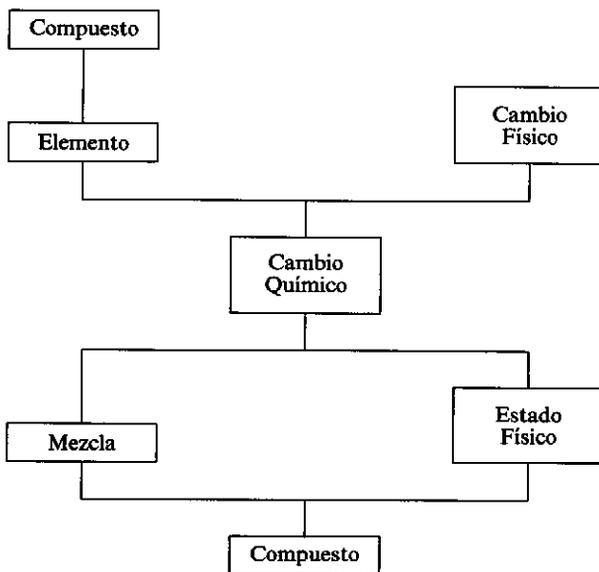


FIGURA 4.3

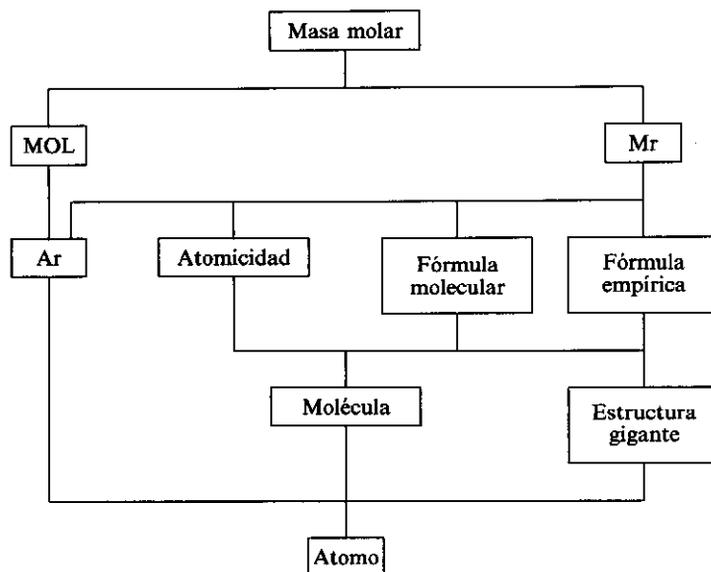
**Jerarquía de conceptos empíricos relacionados con el mol.
Extraída de Gowers, Daniels y Lloyd (1977)**



La dificultad conceptual del mol puede ser atribuible, en parte, a su posición en la cima de la jerarquía de los conceptos relacionados con él. Gower, Daniels y Lloyd (1977a y 1977b) realizaron un análisis jerárquico de los conceptos implicados en la resolución de problemas de moles y en él distinguen dos jerarquías que conducen al mol, una de conceptos teóricos y otra de conceptos empíricos (véanse las Figuras 4.3 y 4.4). Según estas jerarquías el manejo del concepto de mol exigiría comprender todos los conceptos de nivel inferior.

FIGURA 4.4

**Jerarquía de conceptos teóricos relacionados con el mol.
Extraída de Gowers, Daniels y Lloyd (1977)**



Las primeras dificultades que encuentran los estudiantes de química con el concepto de mol aparecen ya en su definición (Dierks, 1981). Definición que, según algunos autores, resulta tan abstracta para los alumnos que terminan por aprenderla de memoria sin llegar a comprender su significado (Fernández Castañón, 1989). La experiencia muestra que bastantes alumnos (BUP, COU e incluso de los últimos cursos de Ciencias Químicas) utilizan habitualmente definiciones de mol que tienen poco que ver con la definición oficialmente admitida. Situación que no tiene nada de extraña si se tiene en cuenta que bastantes textos de Física y Química para Bachillerato, oficialmente aprobados por el M.E.C., utilizan esas mismas definiciones erróneas del mol.

Desde que se empezó a utilizar, el concepto de mol se ha definido de tres formas diferentes: como porción de sustancia, como unidad de masa y en el sentido de número. Se observa que persiste la utilización

de estas definiciones, principalmente la definición del mol como unidad de masa (Novick y Menis, 1976) y (Cervellati *et al*, 1982). Esto podría tener una explicación en el hecho de que ésta definición es la que más se ha utilizado, lo que, unido a que muchos de los cálculos que se realizan en química están basados en medidas de masa, oscurece el concepto (Novick y Menis, 1976). Cuando se utiliza esta definición, en el sentido de masa, los alumnos pueden prescindir de la naturaleza discontinua de la materia y no ver la masa molar como una medida de un número fijo de partículas. Se limitan a establecer una proporción entre la masa y los moles, siendo la constante de proporcionalidad la masa atómica o la masa molecular, según los casos. Realizan sus cálculos de forma mecánica y no establecen ninguna conexión entre los resultados que obtienen y su significado químico.

En la utilización e interpretación del concepto de mol se observa que aparece una cierta confusión entre conceptos relacionados con él. Por ejemplo, no diferencian entre un mol de átomos y un mol de moléculas, encontrándose también dificultades para distinguir los conceptos de mol y de concentración molar (Schmidt, 1984). Estas dificultades podrían ser explicadas por la semejanza fonética entre palabras como mol, molécula, molar, molecular, etc (Novick y Menis, 1976). Por otra parte, el término molar puede crear gran confusión al ser utilizado habitualmente en dos acepciones distintas: concentración y unidades por mol (masa molar, volumen molar, etc) (Packer, 1988).

Al interpretar las causas por las que este concepto resulta tan complicado para nuestros alumnos hay que tener en cuenta que, cuando se introduce en las clases de química, el mol es un término nuevo que, para su definición, interpretación y utilización, requiere la introducción del Número de Avogadro, un número tan grande que está más allá de la imaginación de los estudiantes (Steiner, 1986). Resulta un concepto imposible de ser representado, lo suficientemente abstracto como para resultar ininteligible a los alumnos de nivel elemental. Estas dificultades podrían disminuirse en parte, tal como se ha comentado en capítulos anteriores, haciendo uso de analogías a la hora de introducir este concepto. En esta línea se han realizado diversos trabajos, por ejemplo, se ha enseñado a partir de la analogía con una ensalada de frutas (Feltz, 1985), y a partir de una analogía con monedas (Myers, 1989).

Desde el punto de vista operativo el gran problema del cálculo de moles, de su relación con otros conceptos o de su aplicación a los cálcu-

los en otras partes de la química es la utilización del cálculo proporcional. Dificultades de esta naturaleza serían, por ejemplo: la incapacidad de coordinar las relaciones de moles con los subíndices de las fórmulas o con los coeficientes de las reacciones (Anamuah-Mensah, 1986); las dificultades en los cálculos que implican el paso de cantidad de sustancia a concentración (Frazer y Servant, 1987); y los numerosos errores que se detectan en la aplicación del concepto a los problemas de estequiometría (Cervellati *et al*, 1982).

Otro error muy frecuente, detectado por numerosos autores, es la utilización del volumen molar de un gas para todo tipo de sustancias, aunque estas sean sólidos o líquidos (Novick y Menis, 1976; Cervellati *et al*, 1982; Gabel, Samuel y Hunn, 1987). Este error tan habitual podría implicar una comprensión errónea de las diferencias entre sólidos, líquidos y gases y de las propiedades diferentes de cada uno. Aunque, tal vez, la causa debería buscarse, simplemente, en una comprensión deficiente del concepto de volumen molar de un gas.

Vistas las dificultades que se han descrito más arriba, puede concluirse que, en el concepto de mol y en su aplicación a los problemas de química, se dan cita los tres grandes dificultades conceptuales que, tal como exponíamos en el capítulo 3, aparecen en la comprensión de la química: la continuidad/discontinuidad de la materia, la conservación y la cuantificación. El concepto de mol implica el paso de lo macroscópico a lo microscópico, de lo observable a lo no observable, la comprensión de la discontinuidad de la materia y, a la hora de aplicarlo en los cálculos químicos, la necesidad de utilizar el cálculo proporcional, sin olvidarnos que, en numerosas ocasiones, las relaciones cuantitativas en las que se utiliza incluyen la necesidad de tener presente la conservación de la materia.

En definitiva, en el concepto de mol se reúnen todos aquellos aspectos que hacen difícil la comprensión de la química. No debemos, por tanto, extrañarnos de las grandes dificultades que encuentran los estudiantes en la comprensión y utilización de este concepto tan fundamental.

CAPITULO 5

ESTADOS DE AGREGACION DE LA MATERIA

5.1 INTRODUCCION

Desde pequeño, el niño aprende a reconocer los tres estados en que se encuentra la materia: sólido, líquido y gaseoso. Va construyendo estas nociones que, en un principio, parecen tener una serie de características o atributos que no siempre coinciden con los que un científico asignaría a cada uno de los tres estados (Stavy y Stachel, 1985; Biddulph y Osborne, 1983).

Esta experiencia del niño con su entorno va a ayudarle, en un primer momento, a construir sus primeras ideas sobre los sólidos, los líquidos y los gases. Más adelante, el lenguaje cotidiano y la instrucción, cuando esta se efectúe, influirán sobre esas primeras ideas, probablemente modificándolas, al menos en algunos aspectos.

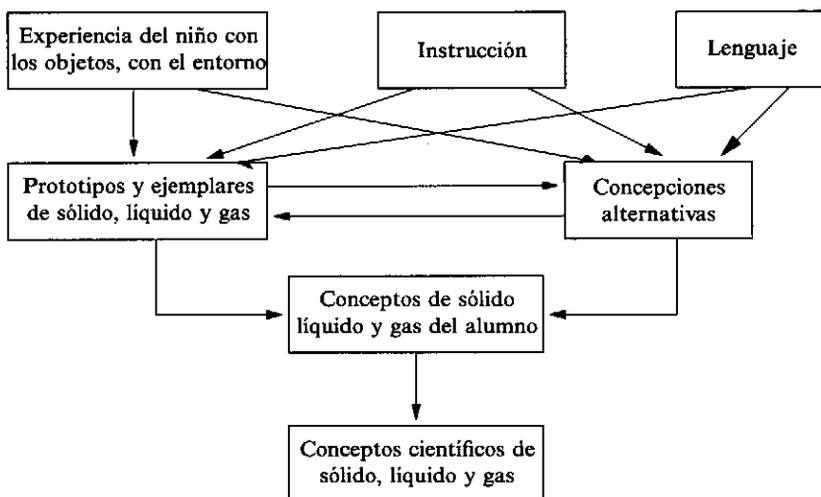
Es posible que de este modo el alumno construya "sus prototipos" (Rosch, 1978) de sólido, líquido y gas, los cuales van a influir notablemente en él a la hora de asimilar las ideas transmitidas por la instrucción. De ahí el interés por identificar el concepto que el alumno tiene de los tres estados de la materia y analizar en qué medida se alejan o no de las nociones científicas de sólido, líquido y gas. Asimismo, influidas, tanto por la experiencia, como por el lenguaje y la instrucción y los prototipos del alumno, pueden aparecer concepciones alternativas estrechamente ligadas, en su mayoría, a varios aspectos (ya señalados en el capítulo 4):

- Su concepción de la estructura de la materia.
- La primacía de los aspectos perceptivos.
- Las nociones de conservación.

A su vez, dichas concepciones alternativas, influyen en esos prototipos y ejemplares. De este modo, el alumno construiría sus conceptos de sólido, líquido y gas, que, por un camino no muy bien conocido aún, deberían llegar a coincidir con los científicos (véase la Figura 5.1).

FIGURA 5.1

**Formación del concepto de sólido,
líquido y gas de los niños**



Hay que hacer notar la falta de trabajos que investiguen tanto la dimensión evolutiva de estos conceptos, como la influencia de la instrucción en los mismos y, sobre todo, el camino que el alumno debe seguir para, a partir de sus conceptos sobre los estados de la materia, alcanzar los correspondientes conceptos científicos.

No podemos dejar de señalar, tampoco, la ausencia de estudios sobre los conceptos de sólido y líquido. Por el contrario, los gases han

sido frecuentemente estudiados, lo que puede ser debido a que son claves para admitir la discontinuidad de la materia y este es uno de los temas que más se han investigado.

Tampoco parecen encontrarse trabajos comparativos que expliquen qué diferencias existen, para los alumnos, entre un sólido, un líquido y un gas; en este sentido, parece cierto, de acuerdo con lo expuesto en el apartado dedicado al modelo corpuscular del alumno, que un porcentaje elevado no tiene muy claras esas diferencias en términos corpusculares, lo que puede ser origen de dificultades en la comprensión de conceptos tales como las disoluciones, los cambios de estado, las reacciones químicas y otros.

A pesar de ello, siguiendo los resultados obtenidos por Shepherd y Renner (1982), podemos establecer algunas de las diferencias que los alumnos encuentran entre los sólidos, los líquidos y los gases (recogidas en la tabla 5.1).

TABLA 5.1

Diferencias entre sólidos, líquidos y gases

Sólidos	Líquidos	Gases
-Son duros, -son pesados	-Son ligeros. -Son fluidos, pueden verse.	-Son ligeros (como el aire)
-Están constituidos por una "sustancia material". (1)	-No están constituidos por una "sustancia material".	-No están constituidos por una "sustancia material".
-Tienen más volumen que los líquidos y los gases.	-Tienen menos volumen que los sólidos.	-Tienen menos volumen que los sólidos.
-Las partículas están fijas y ocupan un lugar determinado.	-Las partículas no están fijas, se mueven.	-Las partículas no están fijas, se mueven.

Estos autores estudian las concepciones erróneas (concepciones alternativas, según la terminología que venimos empleando en este trabajo) sobre los estados de la materia de una muestra de 74 alumnos

norteamericanos de grado décimo (media de edad de 16,3 años), y 61 de grado doce (media de edad de 18 años). La tarea que proponen a sus alumnos es la siguiente: *“Los sólidos siempre tienen la misma forma. Los gases y los líquidos adoptan la forma del recipiente que los contiene. Escribe un párrafo que explique por qué los sólidos conservan su forma y los gases y los líquidos no.”*

Los resultados revelaron la incapacidad de los alumnos para dar un respuesta correcta. Ninguno de ellos fue capaz de dar una respuesta que cumpliera todos los requisitos que, en opinión de los investigadores, eran necesarios para valorar la respuesta como correcta. Una respuesta correcta, debía incluir referencias:

- Al movimiento de las partículas en sólidos, líquidos y gases.
- A las fuerzas de atracción entre las partículas en sólidos, líquidos y gases.

Por ello, los sólidos, en los que el movimiento de las partículas es menor y mayores las fuerzas de atracción entre ellas, no adoptan la forma del recipiente que los contiene, a diferencia de lo que ocurre en líquidos y gases, en los que el movimiento de las partículas es mayor y menores las fuerzas de atracción intermoleculares.

TABLA 5.2

Tipos de respuestas parcialmente correctas

Aspectos que se señalaban en la explicación	Resultados
Tipo 1: -Estructura discontinua de la materia. -Movimiento de las partículas.	4% del total: 6 alumnos, 5 de ellos de grado 12.
Tipo 2: -Estructura discontinua de la materia. -Fuerzas de atracción entre las partículas.	4% del total: 6 alumnos, 4 de ellos de grado 12.
Tipo 3: -Estructura discontinua de la materia.	21% del total: 28 alumnos, 12 de ellos de grado 12.
Tipo 4: -Movimiento de las partículas	5% del total: 7 alumnos, 5 de ellos de grado 12
Tipo 5: -Fuerzas de atracción entre las partículas.	9% del total: 11 alumnos, 5 de ellos de grado 12.

Un 43% de las respuestas totales (58 alumnos, de los que 31 eran de grado 12) fueron clasificadas como parcialmente correctas. Se encontraron 5 tipos de respuestas dentro de este grupo (ver tabla 5.2). En un 50% de la muestra fueron detectadas concepciones alternativas, que hemos incluido en la tabla 5.1 y que comentaremos a continuación.

- a) *Atribuir a los sólidos determinadas propiedades, tales como la "dureza" o el "peso", como propiedades características que los diferencia de líquidos y gases.* (23% del total: 31 alumnos, de los cuales 14 pertenecían al grado 12, equivalente a C.O.U.). Estos alumnos parecen basar sus diferencias entre los tres estados de la materia en propiedades macroscópicas, en lugar de referirse a las microscópicas, esto es, a la estructura corpuscular de la materia. Los resultados revelan que un porcentaje significativo de alumnos posee esta concepción; este tanto por ciento es aún más significativo si tenemos en cuenta la edad de los alumnos: prácticamente un 20% de los alumnos de 18 años, presentan estas ideas. Estos datos corroboran lo expuesto en el capítulo 4. De nuevo, podemos concluir que un gran número de alumnos no parece utilizar espontáneamente ideas corpusculares para resolver las tareas que se les proponen, sino que buscan explicaciones basadas en las propiedades observables en el mundo macroscópico. La dificultad aparece cuando se encuentran con hechos o fenómenos que no son fáciles de percibir (o incluso imperceptibles) y que no pueden ser explicados de ese modo. En definitiva, lo que el alumno hace es "olvidarse" del nivel microscópico.
- b) *Los sólidos tienen más volumen que los líquidos y los gases.* Esta idea puede tener su origen tanto en los problemas que tienen muchos alumnos para conservar el volumen (problemas en los que lo perceptivo tiene también bastante que ver), como con la representación en términos de partículas que el estudiante posea de los sólidos, líquidos y gases, una vez que ya ha adquirido una visión discontinua de la materia.
- c) *Los sólidos "están hechos de algo", (material) a diferencia de los líquidos y los gases.* Para el alumno, los sólidos están hechos de sustancias concretas que, en general, son conocidas por él, por ejemplo, hierro, madera, papel, etc; pero, en cambio, ¿de qué están hechos el agua o el aire?. Para explicar de qué están hechos

estos últimos, han de aludir a su composición química, a los elementos que los componen, no a una sustancia concreta. Ha de realizar una abstracción y una representación de esos elementos que, normalmente ni le son familiares ni puede percibir (en el caso del agua, esto ocurre con el hidrógeno, el oxígeno o los átomos de esas sustancias), mientras que, en el caso de los sólidos, si bien es cierto que tiene que abstraer para construir los conceptos "madera", "hierro", etc, lo hace a partir de numerosos ejemplares que encuentra habitualmente en su entorno y que puede percibir (por ejemplo, un lápiz, un árbol, una mesa, etc., en el caso de la madera). Ciertamente, esto no ocurre con todos los líquidos o los gases, podemos encontrar algunos ejemplos en los que se podrían identificar sustancias, familiares al alumno, que explican de que están hechos esos líquidos o gases; así, el vino está hecho de uvas, el humo de suciedad, de desechos o residuos. No obstante, creemos que en los ejemplares más accesibles y representativos para el estudiante sí ocurre lo que hemos explicado en el párrafo anterior, de ahí que lo consideremos como una posible causa de esta concepción alternativa.

- d) *No diferenciar los tres estados de la materia desde el punto de vista de la teoría cinético-molecular.* Como muy bien reflejan los resultados obtenidos en este estudio, los alumnos de la muestra no hacen referencia (o si lo hacen, sólo parcialmente) en sus explicaciones ni a la estructura discontinua de la materia, ni al movimiento de las partículas, ni a las fuerzas de atracción entre ellas. Puesto que estos aspectos fueron tratados en el capítulo 4, remitimos al lector a dicho apartado.

En conclusión, podemos decir que este trabajo, realizado por Shepherd y Renner apoya de la idea de que, a pesar de la instrucción, el alumno sigue manteniendo concepciones alternativas, en las que lo perceptivo juega un importante papel, así como una deficiente comprensión de la teoría atómico-molecular.

A continuación detallaremos las concepciones alternativas y dificultades que, respecto a los conceptos de sólido, líquido y gas, se han encontrado en los diferentes estudios revisados.

5.2 CONCEPTO DE SOLIDO

Como ya hemos dicho más arriba, hemos encontrado muy pocos trabajos cuyo objetivo sea estudiar el concepto de sólido del alumno. No obstante, vamos a comentar sus principales conclusiones si bien se debe tener en cuenta este dato a la hora de interpretarlas y valorarlas.

Stavy y Stachel (1985) y Dickinson (1987) estudian, respectivamente, el concepto de sólido y líquido y el concepto de materia desde un punto de vista evolutivo, en 200 niños de 5 a 12 años, en el caso de Stavy y Stachel, y de 4 a 12, en el caso de Dickinson.

Stavy y Stachel, proponen tres tipos de tareas en su experimento. En la primera de ellas, se mostraban a los sujetos dos sólidos (un trozo de roca y un palo) y se les pedía que explicaran las semejanzas que encontraran entre ambos objetos. También intentaban comprobar si, al señalar las semejanzas, utilizaban el término "sólido" para referirse a ambos objetos. La metodología empleada fue la entrevista clínica.

En la segunda, se presentaba a los estudiantes una colección de 30 objetos, 21 de los cuales eran sólidos y 9 líquidos. Entre los sólidos se incluían tanto sólidos rígidos como blandos y polvos de distintas sustancias (por ejemplo, polvos de alumnio, harina, arena, azúcar, etc.). Se les pedía que los clasificaran como sólidos y líquidos. Si creían que alguno/s de los objetos no pertenecían a ninguno de los dos grupos, podían clasificarlos en otros grupos creados por ellos. Por último, debían justificar sus criterios de clasificación.

En la tercera, los estudiantes debían predecir cuáles de los objetos que habían clasificado en la segunda tarea podían ser apilados. También aquí se les pedía que justificaran sus predicciones. En estas dos últimas tareas se utilizaron pruebas de papel y lápiz para recoger las respuestas de los alumnos.

En la primera prueba, en la que debían definir el concepto de sólido, se encontraron los siguientes resultados:

- En general, las semejanzas entre los sólidos son más abstractas y difíciles de percibir para los niños que las que encuentran entre los líquidos; por lo que, hasta los alumnos de 12-13 años (los mayores de la muestra), tienen problemas a la hora de reconocerlas (sólo un 52% de ellos lo hacen).

- El uso de la palabra "sólido" es muy escaso, incluso en los alumnos mayores (28% en los alumnos mayores de la muestra, que tenían entre 12 y 13 años).
- El tiempo que, al parecer, transcurre entre que los niños reconocen las semejanzas entre los sólidos y emplean la palabra sólido, es mayor que el que transcurre en el caso de los líquidos.

De acuerdo con las semejanzas que encontraron entre los objetos que se les presentaban, Stavy y Stachel, distinguen tres grupos de alumnos:

- a) Aquellos que no encontraron semejanza alguna entre los objetos presentados o señalaban diferencias en vez de semejanzas.
- b) Niños que encontraban semejanzas que no tenían nada que ver con el hecho de que los objetos presentados fueran sólidos. Este grupo señalaba como semejanzas el color, la forma, o el tamaño. En general, entre los más pequeños, estas asociaciones de tipo perceptivo parecen, en opinión de las autoras, estar relacionadas con el concepto de sólido. A medida que aumenta la edad, aumenta la asociación entre este concepto de sólido del niño y el uso de la palabra "sólido". Señalan, también, que, el reconocimiento de semejanzas entre dos o más sólidos, es un paso previo al uso espontáneo de la palabra "sólido".
- c) Estudiantes que encontraron semejanzas debidas realmente a que los objetos eran sólidos. Este grupo los caracterizó como: duros, pesados, inanimados, irrompibles, etc. Curiosamente, no hicieron referencia a ejemplares prototípicos (a diferencia de lo que ocurrió en el caso de los líquidos). Cuando se les pidieron explícitamente ejemplos de sólidos, la mayoría citaron aquellos que eran más accesibles: los que tenían más presentes en el momento de la entrevista: mesa, pizarra, silla, etc. A diferencia de lo obtenido por Dickinson (1982), estas autoras no encontraron que los metales fueran los prototipos de sólidos.

Un resultado de la tarea de clasificación que merece una atención especial es la dificultad que los alumnos de todas las edades tuvieron

para clasificar los "polvos". Parece que, para los alumnos, cuanto más pequeños sean los granos menos sólido es ese objeto. Esto indica que el concepto de sólido del niño difiere o al menos es más restringido que el del adulto y el del científico. También, aunque en menor grado, se encontraron problemas con los sólidos no rígidos (como el chocolate, el hielo, la vela o la plastilina) que, un 50% de la muestra, clasificaron como no sólidos. Los sólidos rígidos fueron clasificados sin ningún género de duda. Parece que cuanto más duro es el objeto con más frecuencia es clasificado como sólido.

En definitiva, podemos resumir las conclusiones de este trabajo, del modo siguiente:

- a) El concepto de sólido es más difícil de adquirir para el alumno que el concepto de líquido.
- b) El prototipo de sólido del alumno es un objeto rígido, duro y pesado, cuya forma es difícil de cambiar.
- c) Aquellos sólidos cuya forma cambia (o puede cambiar) con facilidad no se clasifican como tales sólidos (al menos, en un primer momento). Es el caso de los sólidos no rígidos, como el chocolate, las esponjas, etc, y de los polvos. Estas dificultades de clasificación de los polvos como sólidos han sido señaladas también por otros autores, por ejemplo, Dickinson (1982 y 1987).

En el estudio de 1982 (citado en Stavy y Stachel, 1985), Dickinson distingue las siguientes etapas evolutivas en la adquisición del concepto de sólido:

- Hacia los 4 años, el niño distingue, aunque de manera imprecisa, entre sólidos y líquidos (clasifica los líquidos viscosos como sólidos y los sólidos "blandos" como líquidos).
- De 6 a 9 años, los líquidos viscosos y los sólidos blandos se clasifican en un grupo intermedio, pero no como sólidos ni como líquidos como ocurría en la etapa anterior. Para Dickinson, los metales son el ejemplo característico para los niños de sólidos. En esta etapa, tampoco son capaces de distinguir entre las propiedades de las sustancias debidas a su composición química y las

que son debidas al estado de agregación en que dicha sustancia se encuentre.

- Hacia los 12 años algunos alumnos (un 30%, según este autor) consiguen explicar correctamente la clasificación que hacen de los objetos sólidos que se les presentan y definir el concepto de sólido.

De acuerdo con el trabajo realizado por este mismo autor (Dickinson, 1987) sobre el desarrollo y evolución del concepto de materia (se examina la clasificación que, una muestra de 42 niños de 4 a 12 años, hace de un conjunto de objetos sólidos de plástico, madera y metal) se pueden apreciar cambios en el significado de la expresión "hecho de", que se convierte en "constituido por". Así, si antes, una cuchara de madera es "madera" y "cuchara", hacia los 10 años, el niño entiende que la cuchara está hecha (en el sentido de "constituida por") de madera.

Un paso más en la evolución, consistiría en que los niños comprendan que un objeto continúa estando hecho de la misma materia a pesar de las transformaciones que sufre o puede sufrir, en definitiva, a reconocer, por ejemplo, que las sustancias no pierden su identidad en los cambios de estado. Este avance se conseguiría a partir de los 12 años, de acuerdo con la tercera etapa que cita Dickinson (1982).

En tareas de representación (en las que se pide al sujeto que dibuje la estructura interna de la materia), Llorens (en prensa) encuentra mayores dificultades en la representación de sólidos que en la de líquidos y gases (Ver tarea nº 24). Driver (1985) cita un estudio realizado en Escocia con 1000 estudiantes de 12-13 años, en el que se pedía también a los alumnos que dibujaran las partículas de un sólido, un líquido y un gas. Un porcentaje elevado de sujetos dibujó las partículas de los sólidos más grandes que las de los líquidos y éstas mayores que las de los gases (ver tarea nº 25).

A modo de resumen, recogemos en la tabla 5.3 las principales concepciones alternativas de los alumnos relativas al concepto de sólido. La mayoría de ellas ya han sido comentadas con anterioridad en otros apartados de este libro, (incluimos en la tabla dónde) a los cuales remitimos al lector.

TABLA 5.3

Algunas ideas de los alumnos sobre los sólidos		Apartado	Edad de la muestra estudiada	Tamaño de la muestra
1. Ideas basadas en la experiencia de la vida cotidiana, en lo perceptivo.	Los sólidos son rígidos, por ello, los sólidos son "blandos" y los polvos, presentan dificultades de clasificación.	Dickinson, 1982, 1987. Stavy y Stachel, 1985.	1. Concepto de sólido del alumno. 4-12 5-12	42 200
	Tienen más volumen que los gases y los líquidos.	Shepherd y Renner, 1982.	Introducción de Estados de agregación de la materia.	135
2. Ideas relacionadas con la continuidad-discontinuidad de la materia.	Los sólidos son continuos a diferencia de los gases.	Novick y Nussbaum, 1981.	2.3 de Conceptos químicos fundamentales (Tabla 2)	576
	Las partículas se fijan en un lugar determinado (de ahí, que los sólidos, mantengan una forma fija).	Shepherd y Renner, 1982.	Introducción de Estados de agregación de la materia.	135
	Atribuir las propiedades del metal sólido a las partículas del mismo.	Dickinson, 1987.	2.3 de Conceptos químicos fundamentales.	200
3. Ideas relativas al movimiento de las partículas.	Las partículas de los sólidos no se mueven.	Driver, 1985.	Idem	300
	Las partículas de un sólido, se mueven, mientras que las de los gases y los líquidos, vibran. Brook, Briggs y Bell, 1983.	Driver, 1985.	Idem	300
	El tamaño de las partículas es más pequeño en los sólidos y en los líquidos, y en estos, más pequeñas que en los gases.	Driver, 1985 (estudio realizado en Escocia).	Idem	1000

5.3 CONCEPTO DE LIQUIDO

Aunque, de nuevo, debemos insistir en la ausencia de trabajos específicos sobre el concepto de líquido en los alumnos, podemos citar algunos que contienen referencias interesantes: Stavy y Stachel (1985), Shepherd y Renner (1982), Furió (1983), Osborne y Cosgrove (1985), Gabel (1987) y Dickinson (1982).

En el estudio de Stavy y Stachel (1985) que hemos comentado y expuesto, en parte, en el apartado anterior (apartado 5.2) encontramos también algunos aspectos interesantes sobre la concepción de los líquidos que tiene el alumno. Puesto que las tareas ya han sido descritas con detalle, omitimos su descripción aquí.

A diferencia de lo que ocurría con los sólidos, prácticamente todos los niños de la muestra, incluidos los preescolares, señalaban correctamente las semejanzas entre los líquidos que se les presentaban (té y perfume). El uso de la palabra "líquido" para describir esas semejanzas aumenta progresivamente, desde el 56% en los niños de 6 años, al 100% de los alumnos de grado 7 (12 años). Estos resultados se contraponen a los encontrados por Dickinson (1982), en una muestra de niños ingleses, en los que el uso de la palabra "líquido" es escaso.

Análogamente a la clasificación, que hacen estas autoras, de acuerdo con el tipo de semejanzas que encuentran en el grupo de sólidos, realizan la siguiente, respecto a los líquidos:

- a) Alumnos que no encuentran semejanzas entre los líquidos presentados, o indican como tales propiedades que los diferencian como el olor o el color.
- b) Aquellos que señalan semejanzas que no son características de los líquidos.
- c) Estudiantes que realizan correctamente la tarea e indican como semejanzas propiedades características de los líquidos.

En las definiciones que los alumnos dan de "líquido", señalan el hecho de que puedan derramarse o verterse como propiedad fundamental de los mismos. El ejemplar con el que todos, especialmente los más pequeños, comparan otros líquidos, para decidir si son o no tales, es el agua. Otras características que los niños atribuyen a los líquidos son: movimiento, fluidez, no son duros, mojan, etc. Los mayores de 12 años,

incluyen algunas características que han aprendido en la escuela: fluyen, cambian de forma, tienen peso y volumen fijos, no se comprimen, se transforman en gases cuando se calientan, etc.

En las tareas de clasificación, prácticamente todos, clasificaron correctamente los líquidos propuestos (incluso un 70% de los preescolares), sólo los líquidos viscosos fueron mal clasificados por los más pequeños que los incluyeron en los sólidos; algunos de los mayores los clasificaron en un grupo intermedio, por tanto, ni como sólidos, ni como líquidos.

El trabajo de Shepherd y Renner (1982) ya ha sido comentado anteriormente. En la tabla 5.1 recogemos algunas de las características que, los alumnos de la muestra, atribuyen a los líquidos.

Furió (1983) propone a una muestra de 338 estudiantes de 5º de EGB a 2º de BUP una tarea (12b del Apéndice) que pertenece al cuestionario que elabora para estudiar las ideas de los alumnos sobre los gases. En los resultados, encuentra que un 7% elige el ítem b, lo que parece indicar que los líquidos pesan más que los gases para estos alumnos. Esta concepción puede tener su origen en la connotación de ligereza (que comentaremos en el apartado 5.4, dedicado al concepto de gas del alumno) que habitualmente tienen los gases para el alumno.

Osborne y Cosgrove (1985) sugieren en sus conclusiones que, los modelos científicos que se enseñan a los niños, son demasiado abstractos, sobre todo de cara a su aplicación en la vida cotidiana. Así, para muchos alumnos, los líquidos son menos densos que los sólidos de acuerdo con la teoría cinético-molecular. Sin embargo, se encuentran con que un ejemplo cercano o familiar para ellos en el que podrían aplicar esto, el paso de agua a hielo, contradice este aspecto de la teoría de partículas.

Gabel (1987) señala que, con frecuencia, en las tareas de representación que los sujetos han de realizar en los ítems de su test (ya comentado en el capítulo 4 y algunos de cuyos ítems se han recogido en la tarea nº 16) añaden líneas para indicar la superficie libre del líquido, cuando lo correcto sería dejar que las partículas lo hicieran. Estos estudiantes están mezclando representaciones correspondientes al nivel macroscópico con las propias del nivel microscópico, lo que demuestra las dificultades que tienen para abstraer y representarse el mundo microscópico, así como para discernir con claridad la frontera entre lo que corresponde a cada uno de esos niveles.

En la tabla 5.4 resumimos las principales concepciones alternativas sobre los líquidos, que hemos comentado en este y otros apartados.

TABLA 5.4

Algunas ideas de los alumnos sobre los líquidos

		Autor	Muestra	Edad
1. Ideas relativas a las partículas que constituyen el líquido.	Las partículas vibran.	Brook, Briggs y Bell, 1983	300	15
	Adición de líneas para indicar la altura o nivel del líquido, en lugar de dejar que las partículas lo indiquen.	Gabel, 1987		
	La separación media de las partículas de los líquidos, tiende a ser sobreestimada.	Driver, 1985 (estudio realizado en Escocia).	1000	12-13
2. Ideas debidas a una concepción prototípica de la noción de líquido.	El agua representa el prototipo de líquido, por lo que basan sus juicios para decidir si una sustancia es líquido o no, en la comparación de las propiedades de dicha sustancia con las del agua.	Stavy y Stachel, 1985	200	5-12
	Los líquidos son menos densos que los sólidos.	Osborne y Cosgrove, 1985	43	8-17
3. Ideas relacionadas con las nociones de conservación del alumno.	Los líquidos pesan más que los gases.	Furio, 1983	338	10-15
	Los líquidos tienen menos volumen que los sólidos.	Shepherd y Renner, 1982	135	16-18

Como conclusión, podemos decir que los estudios que hemos revisado no parecen indicar que el concepto de líquido presente demasiadas dificultades, si bien, hay que tener en cuenta las limitaciones de los mismos a la hora de generalizar y/o valorar los resultados.

En cualquier caso, parece que los niños, hasta los 12 años, "van perfeccionando" su concepto de líquido, que se caracteriza, además de por lo que hemos ido señalando, por utilizar como ejemplar prototípico de líquido el agua. Para muchos de ellos (la mayoría, si no todos) los líquidos están constituidos por agua. Atribuyen a los demás líquidos las propiedades del agua. La clasificación de sustancias viscosas como líquidos parece deberse a que consideran, de acuerdo con sus experiencias perceptivas, que los líquidos, en general, son menos densos que los sólidos. Estas concepciones, tienen que competir y/o coexistir con la información que se les va proporcionando en el colegio sobre estos temas. Se originan así, otras concepciones alternativas, en las que habría que tener en cuenta, además de estos dos factores, un tercero, que sería el nivel de desarrollo cognitivo del alumno. Finalmente, la falta de comprensión de la teoría atómico-molecular sería también una fuente originaria de algunas de estas concepciones alternativas.

5.4 CONCEPTO DE GAS

A diferencia de lo que ocurre con los sólidos y los líquidos, en el caso de los gases, hay numerosos estudios que investigan las ideas de los alumnos sobre los gases (Novick y Nussbaum, 1981; Nussbaum, 1985; Stavy, 1988; Furió, 1983; Seré, 1985; Seré, 1986; Borghi y Ambrosis, 1988). Por tanto, y dado que las muestras y tareas estudiadas son bastante heterogéneas, nos encontramos con un número considerable de datos, difíciles de agrupar y sistematizar. A pesar de ello, hemos intentado agrupar las concepciones alternativas detectadas en la clasificación que a continuación proponemos, y que desarrollaremos a lo largo de este apartado:

- Concepciones que atribuyen características animistas a los gases.
- Concepciones cuyo origen radica en una deficiente comprensión de los postulados de la teoría cinético-molecular.
- Concepciones prototípicas que el alumno posee sobre los gases, basadas en su experiencia cotidiana, en lo perceptivo y en influencias culturales, entre las que cabe destacar el papel del lenguaje.
- Concepciones que demuestran una falta de comprensión de las magnitudes presión, volumen y temperatura, así como de las relaciones entre ellas (leyes de los gases).
- Concepciones originadas por la ausencia (parcial o total) de las nociones de conservación de la masa, el peso y el volumen.

Estos grupos no son excluyentes entre sí, de modo que es posible encontrar concepciones de los alumnos que puedan ser clasificadas en más de un grupo. También nos gustaría precisar, a pesar de haberlo hecho con anterioridad, que no todos los alumnos presentan todas estas clases de concepciones, habrá alumnos que no presenten ninguna de ellas y los habrá que tengan algunas.

5.4.1 Concepciones que atribuyen características animistas a los gases

Este tipo de concepciones se suelen encontrar, en general, entre los alumnos más jóvenes (Llorens, en prensa). Por "jóvenes", entendemos niños menores de 12 años. A partir de esta edad son escasas las referencias de los diversos autores a estas ideas animistas. Si bien, autores como Driver encuentran este tipo de respuesta en algunos de sus alumnos de 15 años (Brook et al, 1983).

Consisten en atribuir características propias de los seres vivos a los gases. Por ejemplo, Seré (1986) señala que algunos niños atribuyen a los gases sentimientos y voluntad. Seré (1985) señala que este razonamiento, propio de los niños pequeños, desaparece a medida que aumenta el grado de instrucción del alumno. A partir de los 12-13 años, cuando algunos asignan al aire -prototipo de gas- propiedades animistas, su razonamiento no es ya animista, sino que este tipo de características que atribuyen, se han convertido en una forma de hablar que dista mucho de expresar el modo de pensar del alumno.

Seré (1986) estudia las concepciones alternativas de los alumnos previas a la instrucción. Entre otros, obtiene el resultado siguiente: "*Los alumnos (600 estudiantes franceses de 11 años) saben intuitivamente, que algo cambia cuando se modifican la presión del gas; estos cambios son descritos frecuentemente en términos animísticos*". El egocentrismo, característico del pensamiento infantil, explicaría este tipo de ideas. El alumno aplica a los objetos explicaciones similares a las que él da a sus acciones, por ello, atribuye intenciones, sentimientos, voluntad, y características humanas en general a los objetos.

5.4.2 Concepciones originadas por una deficiente comprensión de los postulados de la teoría cinético-molecular

En el apartado correspondiente a las ideas del alumno sobre las partículas (capítulo 4) se desarrollaron con detalle este tipo de concepciones, puesto que, como puede verse en dichas páginas, la mayoría de las tareas con las que se investigaba las ideas del alumno sobre la estructura de la materia utilizaban los gases y sus propiedades como contenido de las mismas. Por ello, remitimos al lector a las páginas que acabamos de señalar. No obstante, en la tabla 5.5 se recogen algunas de estas concepciones alternativas, y, en el apéndice, varios ejemplos más de tareas en las que han sido detectadas, que pueden unirse a las citadas en el capítulo 4.

TABLA 5.5
Concepciones alternativas del alumno sobre los gases

Concepciones del alumno	Ejemplos
<p>1. Concepciones que atribuyen características animistas a los gases.</p> <p>2. Concepciones originadas por una deficiente comprensión de los postulados de la teoría cinético-molecular.</p>	<p>Hablan del aire como si tuviera sentimientos y voluntad.</p> <p>-Detectados en tareas de representación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● gas continuo y estático ● las partículas: <ul style="list-style-type: none"> -no se distribuyen correctamente, aparecen, por ejemplo, en el fondo del recipiente. -aparecen ordenadas. -la separación media de las partículas tiende a ser infravalorada en los gases, y sobreestima en los líquidos. -dibujan las partículas en orden decreciente de sólido a gas (las partículas de los gases, son vistas, pues, como las más pequeñas). <p>-Detectadas en tareas explicativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● los gases no se mezclan entre sí. ● las partículas no están en continuo movimiento. ● las fuerzas entre las partículas de un gas y su recipiente, contribuyen a un aumento de la presión.

TABLA 5.5 (continuación)

3. Concepciones prototípicas sobre los gases, basadas en su experiencia cotidiana, en lo perceptivo y en influencias culturales (lenguaje):	<ul style="list-style-type: none"> - Gas = aire - Gas = humo - Gas = gas que se emplea para cocinar.
3.1 Identificación de los gases con ejemplares prototípicos para el alumno.	
3.2 Ligereza de los gases.	<ul style="list-style-type: none"> - los gases no pesan - no creen que los gases tengan masa, en cambio, un gas coloreado, si la tiene - los gases pesan menos que los sólidos y los líquidos. - un gas pesa menos que el sólido o el líquido del que procede (cambios de estado).
3.3 Asociación fuerza-movimiento.	<ul style="list-style-type: none"> -Los gases ejercen fuerza sólo cuando están en movimiento. -Se necesita una fuerza externa para que un gas ejerza fuerza (dificultad para reconocer fuerzas invisibles). -Los gases ejercen fuerzas en una sola dirección (causalidad lineal).
3.4 Atribuir al vacío funciones o características que demuestran la falta de comprensión de dicha noción.	<ul style="list-style-type: none"> -El vacío ejerce presión o absorbe. -No hay espacios vacíos entre las partículas de un gas. -Los espacios vacíos deben ser rellenados.
4. Concepciones relativas a errores en la comprensión de las magnitudes presión, volumen y temperatura, así como de sus relaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Confusión masa-presión. - El aire no ejerce presión. - Se interpreta mejor la presión cuando hay cambios concomitantes de volumen o de temperatura (magnitudes directamente proporcionales).
4.1 Presión	<ul style="list-style-type: none"> - No atribuyen los choques de las partículas del gas con el recipiente, a aumento de la presión.
4.2 Volumen	<ul style="list-style-type: none"> - Confusión masa-volumen. - No comprenden que un descenso de volumen lleva consigo un aumento de la presión, para el alumno, si desciende el volumen, desciende la presión.
4.3 Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - No relacionan el aumento de la temperatura con los choques de las partículas entre sí y con el recipiente. - La temperatura de un gas no puede elevarse. - Suponen que la temperatura es una propiedad dependiente de la cantidad de materia, suponen que la temperatura depende del volumen.
5. Concepciones debidas a la ausencia de las nociones de conservación (de la masa, el peso y el volumen)	<ul style="list-style-type: none"> - tarea 18 - tarea 32

5.4.3 Concepciones prototípicas que el alumno posee sobre los gases, basadas en su experiencia cotidiana, en lo perceptivo, y en influencias culturales entre las que cabe destacar el papel del lenguaje

Como comentábamos en la introducción de este apartado, el alumno va creando su concepción de lo que es un gas a partir de sus experiencias cotidianas, así, los globos, el humo, el aire, las burbujas de las bebidas carbonatadas son sus primeros contactos con los gases. Con estos ejemplos, de los cuales extrae las características que, para él, tienen los gases (a partir de los rasgos que percibe) el niño va a construir "su prototipo" de gas. También influyen en esta construcción los diferentes significados y connotaciones que, desde un punto de vista lingüístico y cultural, tiene el término "gas", y otros relacionados con él, como presión, fuerza o movimiento.

Desde nuestro punto de vista, estas concepciones, pueden sintetizarse, fundamentalmente, en las siguientes (que desarrollamos a continuación):

- A) Identificación de los gases con ejemplares prototípicos para el alumno.
- B) Ligereza de los gases.
- C) Asociación fuerza-movimiento.
- D) Atribuir al vacío funciones o características que demuestran la falta de comprensión de dicha noción.

A. Identificación de los gases con ejemplares prototípicos para el alumno

La mayoría de los autores que han investigado el concepto de gas parecen estar de acuerdo en señalar la identificación que muchos alumnos realizan entre los gases y algunos ejemplares de los mismos, como el aire, el humo, el gas que empleamos para cocinar, etc., ejemplares que van a ser prototípicos para el alumno, cuyas características y propiedades van a ser generalizadas, en principio, a todos los gases (Llorens, en prensa; Seré, 1985; Seré, 1986; Stavy, 1988).

Stavy (1988) pide a los sujetos de su muestra (6 grupos de estudiantes israelitas de 9-10 años a 14-15 años) que definan lo que es un

gas para ellos. De acuerdo con el tipo de definición que dan, distingue tres grupos:

- a) Alumnos que definen los gases mediante ejemplares. Este tipo de definición aparece, sobre todo, en los más pequeños: 85% de los de 9-10 años, 80% entre los de 10-11 años, 65% en los de 11-12 y un 35% en los de 12-13; en los dos últimos cursos, 13-14 y 14-15, no aparecen definiciones de este tipo.
- b) Alumnos que definen los gases como una de las formas en la que se encuentra la materia en la naturaleza. Este grupo estaría constituido por estudiantes de edad intermedia.
- c) Alumnos que definen los gases en términos corpusculares. Este tipo de definiciones se encuentra sólo en los alumnos de los cursos superiores (13-14 años y 14-15).

Los ejemplares que los estudiantes del primer grupo utilizan para definir los gases son :

- el gas con el que se cocina
- el gas de las bebidas refrescantes
- el aire
- el vapor (normalmente, vapor de agua, puesto que es el más familiar y cotidiano para ellos)
- otros gases como los hilarantes, los lacrimógenos, los venenosos, etc.

Esto demuestra, según la autora, que los alumnos no desarrollan espontáneamente un concepto de gas antes de que este concepto sea introducido mediante la instrucción. Su concepto de gas va unido a ejemplares específicos con los que se encuentra en su experiencia cotidiana o a los que accede por otros medios de comunicación, como la televisión, los libros, etc. Estos estudiantes no tienen, un concepto general de los gases, ni son conscientes de la existencia de atributos o propiedades comunes a todos ellos. Estos ejemplares que utiliza para construir su concepto de gas tienen un carácter, principalmente funcional. Por ejemplo, el gas que empleamos para cocinar se define como "la cosa que calienta los cacharros". No obstante, a veces, se refieren también a las propiedades de esos ejemplares.

Seré (1986) coincide con Stavy en que, antes de recibir instrucción, el niño tiene un gran número de experiencias relacionadas con el aire y los gases, así, usan o conocen objetos cuyo funcionamiento está basado en las propiedades del aire —prototipo de gas por excelencia, para el niño—, por ejemplo, balones, aspiradoras, ventiladores, las ruedas de los coches, etc. A partir de estas experiencias y de los aspectos que el alumno percibe durante ellas, elabora su concepto de gas. Lo perceptivo tiene mucha importancia, sobre todo, en estas primeras concepciones del niño.

Llorens (en prensa) pasa a alumnos de 12 a 16 años la tarea número 19 (ver Apéndice). Los sujetos encuentran varias explicaciones para este fenómeno de la difusión de vapores. Una de ellas, la más sugerente desde nuestro punto de vista, consiste en dar una *“explicación causal basada en la concepción del aire como agente activo que pone en contacto ambos gases o, incluso, sus partículas”*. Según estos alumnos, el aire sería un medio de transporte que permite que el olor se transmita de un punto a otro de la habitación.

Seré (1985) cita los trabajos de Piaget, con niños de 4 a 7 años, los cuales en ningún momento emplean la palabra “gas” para referirse al aire. Para ellos, el aire es algo que no puede verse ni tocarse, algo que circula, entra y sale de los lugares donde la “materia” no puede hacerlo; algo que “hace que la cosas ocurran sin ser percibidas”.

B. Ligereza de los gases

Una concepción alternativa muy extendida y citada por numerosos trabajos (Llorens, en prensa; Seré, 1985; Seré, 1986; Stavy, 1988; Furió, 1983; Driver, 1985) es la ingravidez de los gases, es decir, la idea de que los gases no pesan.

Los resultados obtenidos por Furió (1983), incluidos en la tarea 12a, indican que *“la mayor parte de los niños de 10 y 11 años (65%) consideran que los gases no pesan, disminuyendo esta tendencia cuando se llega a la etapa de transición entre las operaciones concretas y las formales, según la terminología piagetiana. Sin embargo, apenas hay diferencias significativas a partir de 8º de EGB”*. Como posibles interpretaciones de esta “ligereza” de los gases señala que, estos niños no atribuyen materialidad a los gases (otra concepción alternativa, bastante extendida, citada, por ejemplo, en el trabajo de Seré (1985)) puesto que consideran el peso como una medida de la cantidad de sustancia,

es decir, no distinguen entre peso y masa, o bien, que la *"carencia de peso es sinónimo de ligereza relativa, en el sentido de elevarse por encima del agua"*. Estas interpretaciones, según este mismo autor, serían coherentes de acuerdo con las ideas aristotélicas.

Seré (1985) señala que la idea de que el aire o el gas tiene masa no es obvia para los niños. Ellos consideran que cuanto más aire tenga un objeto más ligero es; esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando se infla un globo.

En nuestra opinión, una de las causas por las que los niños piensan que los gases carecen de masa vuelve a ser, una vez más, lo que ellos perciben en su experiencia cotidiana. Por ejemplo, en el caso del globo, al que antes nos referíamos, el niño observa una transformación que llama su atención, —un gran aumento de volumen—, que, además, va acompañada de ciertas sensaciones de ligereza, puesto que al coger el globo comprueban que este apenas pesa en comparación con otros objetos, y, también, que asciende con una gran facilidad. El niño tiene la idea intuitiva de que lo que pesa poco sube, puede que de ahí proceda esta asociación gas-ligero que, además, es reforzada por el lenguaje cotidiano.

A esta noción intuitiva de ligereza contribuye, también, el hecho de que la mayoría de los ejemplares gaseosos del alumno no puedan, en general, ser percibidos con claridad, como ocurre en el caso del aire (sobre todo cuando no está en movimiento), ni manipulados, a diferencia de lo que ocurre con sólidos y líquidos. Un dato que apoya esta explicación es el que aporta Seré (1985), quien indica que los mismos alumnos que en un primer experimento tenían dificultades para reconocer que los gases tienen masa, dejan de tenerlas si en el experimento se utiliza un gas coloreado. Es decir, cuando el alumno lo percibe claramente (parece que para muchos estudiantes, percibir algo claramente, significa poder ver ese algo) tiene masa.

Stavy (1988) presenta a los alumnos de su muestra (de 9 a 15 años) una taza con agua con gas y les pregunta cuál será el peso de la taza "si se dejan escapar las burbujas". Se les pedía, también, que explicaran qué ocurre con las burbujas en tal caso. Obtuvo dos tipos de respuestas incorrectas:

- La de aquellos que opinan que no hay cambios en el peso (es la respuesta incorrecta más frecuente). Esta respuesta, según la autora, se debe a que estos alumnos piensan que el aire no pesa

(30% en los alumnos de 10 años, 25% en los de 11, 35% en los de 12, 10% en los de 13-14 y un 5% de los de 15), por tanto, la ausencia de burbujas no modifica el peso. Otra explicación que daban era que, las burbujas, que, en un principio, estaban flotando o dentro del líquido, estallan y vierten n su contenido en el líquido, por lo que el peso de éste no varía. El grupo de sujetos que dio esta explicación sí parece atribuir peso a las burbujas.

- Los que opinan que la taza de agua con gas pesa más después de dejar escapar las burbujas. Esta concepción la encuentran sólo entre los niños de 9 a 12 años. Piensan que, puesto que los gases son ligeros (para ellos, los líquidos siempre pesan más que los gases), hacen que el agua pese menos, por ello, cuando se dejan escapar las burbujas, el peso aumenta.

Esta concepción, según la cual los líquidos pesan menos que los gases aparece, también, en otra tarea sobre la evaporación de acetona, en la que el hecho de que las gotas de dicha sustancia desaparezcan (desde un punto de vista perceptivo) les lleva a creer que el peso disminuye. Se puede concluir, una vez más, que estos estudiantes se dejan influir por elementos perceptivos de la tarea. Los resultados obtenidos por Furió (1983) en el ítem 2 del cuestionario que elabora para investigar las ideas de los niños sobre los gases (ver tarea 12b), respondida por 238 alumnos de 10 a 15 años, apoyan también la idea de que, para muchos estudiantes, los líquidos pesan más que los gases, (obtiene un porcentaje que varía desde un 54,3% en los niños de 5º de EGB, a un 40% en los de 2º de BUP. En la respuesta correcta, es decir, los alumnos que conservan el peso, los porcentajes oscilan entre el 28,6% en 5º de EGB, al 44,3% —solamente— de los alumnos de 2º de BUP).

Este mismo autor, en el ítem 3 del citado cuestionario (tarea 12c), semejante a las tareas de Novick y Nussbaum (tareas 1 al 8) obtien que, aproximadamente, un 35% de los sujetos eligen la respuesta "b", esto es, que el gas sólo ocupa la parte superior del recipiente. La explicación es idéntica a la de los casos anteriores, el gas no pesa, es ligero, y por ello asciende y se encuentra sólo en la parte de arriba.

En resumen, podemos concluir, que, en general, hay una concepción alternativa predominante en las ideas de nuestros alumnos sobre los gases: "los gases no pesan", cuyo origen pueden ser tanto perceptivo como inducido por su experiencia cotidiana.

C. Asociación fuerza-movimiento

Según la teoría cinético-molecular de los gases están en continuo movimiento, por lo que ejercen fuerzas sobre aquello con lo que están en contacto. Estas fuerzas, que siempre existen, con independencia de la presión del gas, son interpretadas de modo diferente por los alumnos. Seré (1985) identifica tres ideas o concepciones fundamentales:

- a) Para muchos alumnos, los gases ejercen fuerzas sólo cuando hay movimiento. Por ello, por ejemplo, tienen dificultades para identificar o reconocer la presión atmosférica, cuyos efectos, en general, no son perceptibles. Sólo si el aire se mueve (como por ejemplo, cuando pasa un coche a cierta velocidad) o es un objeto el que lo hace (un molinillo de papel cuando soplan sobre él) reconocen la presencia de fuerzas. Incluso, en tareas en las que es posible apreciar que los gases en equilibrio ejercen fuerzas, intentan establecer conexiones entre fuerza y movimiento. Un ejemplo de ellas es la tarea 28.
- b) Para que los gases ejerzan fuerzas, desde el punto de vista del alumno, se requiere la presencia de factores externos perceptibles que se consideren causa de tales fuerzas. Por ejemplo, una variación de temperatura (factor externo) se consideraría causa de esas fuerzas que ejercen los gases.
- c) Los gases ejercen fuerza sólo en una dirección. Cuando no hay cambios de temperatura tiende a atribuir a la fuerza la dirección del movimiento. Cuando hay cambios de temperatura, los alumnos sugieren que la fuerza actúa sólo en una dirección, normalmente, la vertical.

Según Seré, el estudio de la expansión de los cuerpos fortalece esta asociación fuerza-movimiento. Estas ideas de los alumnos pueden enmarcarse dentro de las características propias de un pensamiento causal correspondiente al período piagetiano de las operaciones concretas: sólo se establecen relaciones causales lineales entre causa y efecto.

D. Atribuir al vacío funciones o características que demuestran falta de comprensión de dicha noción

La noción de vacío, como ya expusimos en la parte dedicada a las ideas del alumno sobre las partículas, resulta bastante difícil de ad-

quirir. Una de las posibles causas de estas dificultades puede ser, de acuerdo con lo que venimos comentando, la imposibilidad que tiene el alumno para percibir, en este caso, el vacío, a lo que se unen los problemas de representación; ¿cómo se imagina y representa el vacío?. Estas dificultades, lo llevan a mantener concepciones alternativas que demuestran su falta de comprensión e, incluso, a veces, el desconocimiento de este concepto. A modo de ejemplo, comentaremos algunas de ellas.

La primera se refiere, de nuevo, a la estructura de la materia. En la parte dedicada a explicar el concepto de partícula del alumno, se explicó que la existencia del vacío entre las partículas es uno de los puntos más oscuros para él (Novick y Nussbaum, 1985; Stavy, 1988). Otras concepciones alternativas relacionadas con el vacío se han encontrado en tareas como las que presentamos a continuación, tomadas de Seré (1985) (veasé la tarea 29).

Dos de las respuestas que con mayor frecuencia dieron los alumnos entrevistados, de edades comprendidas entre los 12 y los 16 años, fueron:

- *El vacío succiona o ejerce presión.* Explican la tarea de la jeringuilla diciendo que el vacío es lo que "succiona" el agua para que entre rápidamente en la jeringa. Un elevado número de estudiantes no son capaces de darse cuenta de que son las diferencias de presión las responsables de que entre el agua. Para ellos, todo efecto ha de tener una causa (y sólo una: causalidad lineal) y, además ha de ser perceptible y externa (al agua, en este caso), debe existir una contigüidad espacial entre causa y efecto. Desde este punto de vista, no resulta extraño que señale al vacío (que es lo que hay dentro de la jeringa) como el responsable de la entrada del agua.
- *Los espacios vacíos deben estar llenos.* Estos alumnos no parecen reconocer siquiera la existencia del vacío, explican tareas como la de la pajita (número 28 del apéndice) diciendo que algo tiene que rellenar el vacío creado, por ello sube el líquido y podemos beberlo. Esta idea es consistente con lo que expusimos sobre los huecos entre las partículas en el apartado 4.1. Allí señalábamos que, con frecuencia, los alumnos consideraban que entre las partículas había aire, calor, algún tipo de sustancia, etc, es decir, no parecían reconocer la existencia del vacío.

5.4.4 Concepciones relativas a errores en la comprensión de los conceptos de presión, volumen, temperatura y de sus relaciones.

Seré (1985 y 1986), Holding (1983), Furió (1983) y Novick y Nussbaum (1981) han detectado concepciones alternativas relativas a los gases cuyo origen parece estar en las dificultades de comprensión, tanto de las tres magnitudes de las que dependen las leyes de los gases, presión, volumen y temperatura, como de las interacciones entre ellas. Repasaremos brevemente, a continuación, las ideas de los alumnos relativas a esas tres magnitudes.

a) Presión

A la hora de presentar a los alumnos algunas propiedades de los gases, necesitamos introducir ciertas magnitudes que, en cambio, no son necesarias para la descripción de sólidos y líquidos. Un ejemplo de ellas es la presión. Esta magnitud está en estrecha relación con el movimiento de los gases, o para ser más exactos, con el movimiento de las partículas de esos gases, responsable de que ejerzan fuerzas sobre los objetos con los que están en contacto. Examinaremos, seguidamente, las ideas de los alumnos en relación a la presión y al movimiento de los gases.

Seré (1985) realiza un estudio cualitativo con una muestra de niños franceses de 11 años a los que pide que indiquen las diferencias que encuentran entre dos gases cuyas presiones son diferentes. Al parecer, la mayoría de los niños a los que se entrevistó individualmente (entrevista clínica), no encontraron diferencia alguna entre ambos gases. Sin embargo, si las encontraron cuando las diferencias de presión se debían a variaciones en la temperatura o en el volumen.

Para decidir si un gas tiene presión diferente a la de otro, los niños usan, según esta autora, analogías con otros fenómenos. Es frecuente que relacionen presión y densidad, a pesar de no tener muy clara esta relación. Otras veces, sus explicaciones se basan en la creencia de que a cada unidad de volumen corresponde una cierta cantidad de gas; por ello, cuando el volumen que ocupa un gas es muy grande, en su opinión, piensan que en él hay una gran cantidad de gas, y, por tanto, hay presión.

En general, parece que se obtienen mejores resultados cuando las variaciones de presión son directamente proporcionales, lo que puede deberse no sólo a dificultades de comprensión de estas magnitudes, sino, también, a otras relacionadas con la comprensión de la proporción (ver capítulo 3).

En relación también con la percepción del niño de las diferencias de presión, Seré (1985 y 1986) ha estudiado ciertas tareas en las que la presión de un gas o del aire encerrado en un recipiente es igual, menor o mayor a la presión atmosférica. Cuando es igual a la presión de un gas contenido en un recipiente abierto, muchos estudiantes perciben el gas/aire de dentro y el de fuera del recipiente como distintos, por lo que, para ellos, resulta difícil comprender que la presión de los gases es igual, cuando los recipientes se comunican. Esta tendencia al equilibrio de las presiones cuando la presión del gas encerrado en el recipiente es menor que la presión atmosférica (y, por tanto, al abrirlo, el aire tiende a pasar hacia el interior para que las presiones se equilibren) contradice su concepción del aire como algo que sale hacia afuera y se expande ocupando cada vez más espacio.

Cuando la presión del interior del recipiente es mayor que la atmosférica, para el 25% de los 20 alumnos entrevistados, la diferencia entre ambos estaba en que en el primero "había más aire". Otros señalaban que el aire, en el primer caso, no podía moverse. Según la autora, cuando el aire está "comprimido" es "fuerte y poderoso" (en palabras de los niños), piensan que el aire no puede moverse. Este sería el primer paso hacia la noción de presión.

Por último, cuando la presión del gas del recipiente es menor que la atmosférica, los alumnos, no parecen encontrar diferencias entre ambos sistemas. Seré llega a las siguientes conclusiones:

- a) Cuando la temperatura cambia, por ejemplo, en experimentos en los que un gas se expande, al observar el cambio de volumen que se produce, los alumnos piensan que el aire "se extiende" y concluyen que no hay presión.
- b) Cuando la temperatura no cambia, muchos, atribuyen valor a la presión del aire, sólo cuando está comprimido. Cuando el recipiente cerrado se destapa y el aire del interior entra en contacto con el del exterior, deja de haber presión.

En los tres casos, cuando la presión es igual, menor o mayor que la presión atmosférica, los alumnos sólo tienen en cuenta un sistema (el del aire que está en el recipiente) en lugar de considerar varios sistemas a la vez. En estos casos que hemos descrito, sin embargo, deben considerar un segundo sistema: la atmósfera.

En la figura 5.2 (tomada de Seré, 1986) se resumen los casos descritos. Las principales ideas de los alumnos sobre el concepto de presión de un gas se recogen en la tabla 5.5.

FIGURA 5.2

	Vacío			
	$p = 0$	$P < P_{**}$	$P = P_{**}$	$P > P_{**}$
Los alumnos creen que hay diferencias de presión	No	No	No	Sí
Los alumnos piensan que hay presión	No	No	No	Sí

b) Volumen

Las principales concepciones alternativas detectadas en relación con el volumen, lo han sido en tareas en las que se producen transformaciones que conllevan variaciones en el volumen del sistema examinado. De ahí que, muchas de ellas, tengan relación con las nociones de conservación del alumno, no sólo del volumen, sino también de la masa y el peso. Estas concepciones serán tratadas más adelante en este apartado dedicado a los gases.

Además de estas concepciones, dependientes de las nociones de conservación, podemos distinguir, en primer lugar, concepciones que demuestran que muchos alumnos, hacia los 11-12 años, aún no diferencian claramente magnitudes como la masa, la cantidad de materia, el peso y el volumen. Por ejemplo, Seré (1985) señala las dificultades que, muchos alumnos, de estas edades tienen para comprender que la masa y la cantidad de materia permanecen constantes, a pesar de las variaciones de presión, volumen y temperatura.

En segundo lugar, concepciones que ponen de manifiesto las dificultades que tienen los alumnos para comprender los efectos que produce la interacción de las tres magnitudes fundamentales que describen el estado de un gas: presión, volumen y temperatura. En general, para el alumno, las relaciones entre las tres magnitudes citadas son difíciles de entender puesto que, para interpretar algunas transformaciones de las que habitualmente se emplean en las situaciones de instrucción, han de realizar un control de tres variables (en este caso). De acuerdo con Piaget, el control de variables es propio del período de las operaciones formales. Numerosos trabajos demuestran que un gran número de adolescentes, entre los 12 y 16 años, no han adquirido estos esquemas formales, lo que podría explicar estas dificultades (ver capítulo 7).

Seré (1985) encuentra otras concepciones relacionadas con las relaciones entre presión, volumen y temperatura. Creer que el volumen disminuye cuando también lo hace la presión, es una de ellas.

También aumentan las dificultades en aquellas tareas en las que se modifica más de una variable a la vez. Al tener que tener en cuenta varias magnitudes, el alumno, tiene problemas para identificar los efectos de cada una y de su interacción con cada una de las demás.

A la vista de estos problemas, parece que de nuevo, el nivel de desarrollo cognitivo del alumno podría explicar gran parte de ellos.

c) Temperatura

En este apartado vamos a examinar las ideas que tienen los alumnos respecto a las variaciones de temperatura en los gases. Para un tercio de los sujetos participantes en el estudio llevado a cabo por Seré (1986) (600 niños de 11 años) el aire, los gases en general, no pueden calentarse, su temperatura no puede variar. En las entrevistas individuales que realizó a niños de 12 años (Seré, 1985) encontró dos tipos de respuestas al preguntár a los alumnos qué ocurría cuando se calentaba aire. En primer lugar, los que pensaban que el aire calentado se transformaba en algo más: anhídrido carbónico, carbono, etc. Estos alumnos, probablemente, están confundiendo un cambio físico con un cambio químico, aspecto que será tratado en el capítulo 6. En segundo lugar, los que consideraban que el aire se calentará sin modificarse por ello. La mayoría apuntó esta segunda respuesta.

En este mismo estudio, encontró que muchos no apreciaban correctamente la escala de temperaturas. Estas dificultades a la hora de

interpretar escalas con números enteros se han encontrado también, en alumnos de estas edades, en tareas con contenidos históricos en las que se pedía que situaran en una escala, fechas de antes y después de Cristo, o que calcularan los años que han transcurrido, por ejemplo, desde el año 20 a.C., hasta la actualidad (Carretero, Pozo, Asensio, 1983).

Además de estas dificultades de interpretación, se ha destacado también en la literatura especializada el uso restringido que hacen de la escala de temperaturas. Appleton (1984) comenta que, este uso limitado, viene determinado por las experiencias que el niño tiene en su vida cotidiana cuyas vivencias, se mueven en una gama de temperaturas que oscila entre los 10 y los 50 grados centígrados, que marcarían los extremos de su escala. Esto podría explicar, por ejemplo, el hecho de que piensen que el punto de ebullición del agua se alcanza a los 60 grados. Según los resultados que obtiene en su estudio, el punto de ebullición del agua estaría entre los 40 y los 120 grados centígrados, y el de fusión, entre los -10 y los 40. Hay que tener en cuenta que este autor trabaja con niños muy pequeños (8-11 años), en relación con los estudios que estamos comentando, que se refieren, en general, al período 12-16. No obstante, sería interesante investigar en el futuro estas concepciones en alumnos de 12 a 16 años.

Seré (1985) ha estudiado la conservación de la masa al aumentar la temperatura. Para ello, pasó la tarea 18 del Apéndice. Aproximadamente, dos tercios de la muestra dieron una respuesta correcta, siendo la explicación más frecuente: "la masa no cambia porque nada entra ni sale". Otros alumnos, en su respuesta, utilizaron alguna/s de las siguientes concepciones alternativas:

- El aire caliente es más ligero que el frío, por ello, cuando se calienta el aire, el frasco debe pesar menos.
- Cuando se calienta el aire aumenta la presión; el recipiente, al calentarse, "acumula aire", por lo que hay más (ocupa más espacio) y, por tanto, el frasco pesará más (confusión presión-n-volumen).
- Hay más aire en el frasco que ha estado al sol, porque el aire expande al calentarse (confusión masa-volumen).

Los estudiantes que utilizan la segunda y la tercera de estas ideas en sus explicaciones no tienen en cuenta que el frasco permanece cerrado y por tanto, el volumen constante). Posteriormente, se pasó la misma tarea, pero con recipientes abiertos en lugar de cerrados. En este

caso, se obtuvo un número mucho más pequeño de respuestas correctas. Se identificó otra concepción dominante en las ideas del alumno: algunos creían que el aire caliente deja un hueco que se llenaría inmediatamente con el aire del ambiente, por lo tanto la cantidad de aire sería constante; o bien, este espacio quedaría vacío, creándose, pues, un vacío en el recipiente. Para estos alumnos, parece existir un vacío alrededor de la fuente de calor cuando ésta es potente.

Estas ideas coinciden con lo que expusimos en el apartado 4.1.1. Detrás de todas estas concepciones podría subyacer una visión continua de la materia.

Una de las principales conclusiones de Seré, sobre la tarea que acabamos de comentar, es que los alumnos de su muestra, son capaces de conservar la materia en transformaciones en las que la temperatura permanece constante, pero no cuando ésta varía.

Appleton (1984) piensa, a la vista de los resultados que obtiene en sus estudios realizados con niños de 8 a 11 años, que la temperatura, para muchos de ellos, es una magnitud dependiente del volumen, resultado obtenido también por Stavy y Berkovitz (1980) y Driver y Russell (1982). Aunque él encontró esta idea en tareas sobre sólidos y líquidos (ver tarea num. 30), creemos que, algunos alumnos, podrían también utilizarla en tareas sobre gases. Sería interesante que futuros estudios comprobaran si esto es cierto, además de si, estas concepciones que se han encontrado en niños de 8 a 11 años, desaparecen en alumnos mayores (12 a 16 años) como consecuencia de la instrucción que reciben, o, por el contrario, siguen presentándose más o menos modificadas.

Para terminar, extraeremos algunas conclusiones de todo lo dicho. En primer lugar, respecto a los estudios que hemos comentado. La mayoría de ellos toman al aire como ejemplo de gas. Si bien es cierto, que probablemente este es el gas más familiar para los alumnos, habría que analizar la consistencia de sus ideas en tareas en las que se utilicen otros gases. Puesto que parece que los alumnos tienen más dificultades cuando la relación entre estas magnitudes es inversamente proporcional, podría analizarse, en futuros trabajos, si se mantienen en otras tareas con contenidos diversos en las que tengan que aplicarse proporciones inversas: problemas matemáticos, problemas de concentración y mezclas, etc., así como el grado de correlación en la ejecución de los sujetos en las diferentes tareas. A la hora de evaluar y valorar estos resultados, hay que tener en cuenta: la edad de los estudiantes examinados que, en general, es inferior a la media de los estudios que venimos comentando

en este trabajo; el tipo de metodología empleado (entrevista clínica, lo que reduce bastante el número de sujetos investigados) y las tareas utilizadas.

En segundo lugar, respecto a las ideas de los alumnos, el uso cotidiano de objetos que utilizan las propiedades físicas del aire, ventosas, jeringuillas, etc., no es suficiente para que los niños comprendan adecuadamente las nociones de presión, volumen y temperatura (Seré, 1986). Las ideas de los niños, respecto a los gases, están dominadas por sus percepciones. En estas ideas, parecen influir también ciertos tópicos como "el aire no pesa", "el aire está en todas partes", etc.

5.4.5 Concepciones debidas a la ausencia de las nociones de conservación (de la masa, el peso y el volumen)

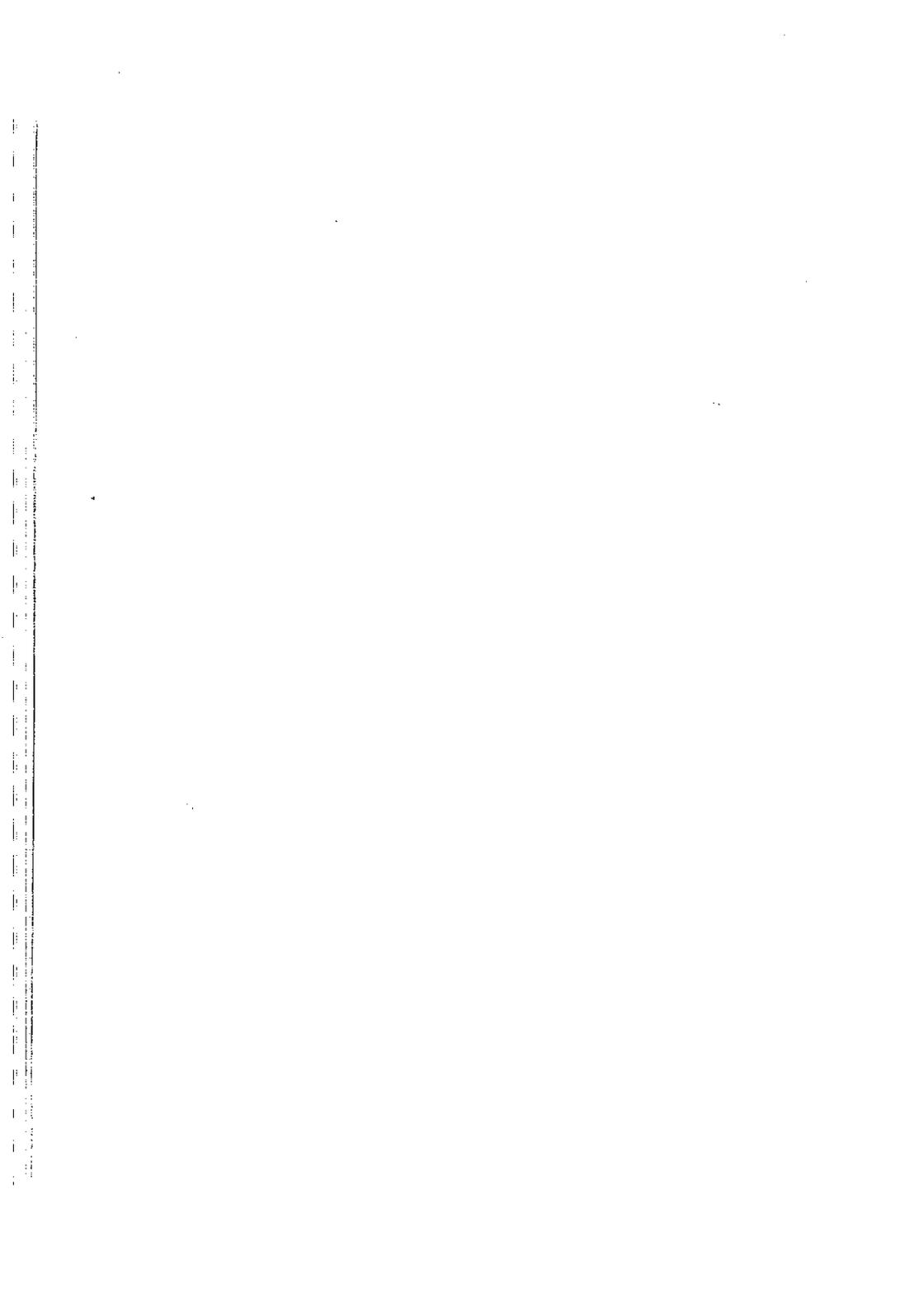
Son numerosas las tareas empleadas por diversos autores (Furió, 1983; Gabel, 1987; Seré, 1985 y 1986; Llorens, en prensa), que han puesto de manifiesto algunas concepciones alternativas cuyo origen o explicación parece estar en la ausencia de las nociones de conservación de estos alumnos.

Seré (1985 y 1986) estudia la conservación de la masa, diferenciando las transformaciones que se realizan a temperatura constante, frente a aquellas en las que la temperatura varía. Un ejemplo de las primeras sería la tarea nº 31. Sólo el 50% de la muestra (600 alumnos de 11 años) respondieron correctamente, en cambio, si se introducía en la jeringuilla gas coloreado, en vez de aire, aumentaba espectacularmente el número de sujetos que respondía correctamente, lo que vuelve a apoyar una de las ideas en que estamos repitiendo insistentemente a lo largo de este capítulo: la importancia de lo perceptivo.

Como ejemplo del segundo tipo de transformaciones en las que la temperatura varía citaremos la tarea nº 18. Este tipo de tareas no fue resuelto por un 40% de los niños participantes en la investigación. El porcentaje variaba en función de las condiciones de la tarea y de la fuente de calor empleada. Recogemos algunas de las explicaciones dadas por los alumnos.

- El aire caliente pesa menos que el frío, por lo que, al poner el frasco al sol pesará menos.
- El aire se evapora cuando se calienta. Para estos alumnos evaporarse equivale a desaparecer de hecho, el líquido desaparece de su campo perceptivo. Según esta explicación el frasco pesará menos.
- Cuando algo se calienta, se dilata. Si se dilata, ocupa más volumen y, para ellos significa que hay más masa.

También en tareas de representación se han obtenido resultados que indican la ausencia del concepto de conservación de la masa y el peso, además de la conservación del número de partículas (ver apartado 4.1 y tarea nº 32).



CAPITULO 6

LOS CAMBIOS DE LA MATERIA

6.1 CAMBIO FISICO FRENTE A CAMBIO QUIMICO

Dentro del estudio de la química uno de los campos más importantes es el que se refiere a los cambios o transformaciones que puede sufrir la materia. Estos cambios, habitualmente, se clasifican en dos categorías: cambios físicos y cambios químicos.

Se denominan cambios o transformaciones físicas a aquellos en las que se mantiene la identidad de las sustancias que participan en el fenómeno. Permanecen intactas las unidades microscópicas de cada sustancia (moléculas o iones). Es el caso de los procesos de cambio de estado, por ejemplo, el cambio de hielo a agua líquida o el cambio de agua a vapor. En ellos, la única sustancia que participa, el compuesto denominado agua, mantiene su identidad a lo largo de todo el proceso. Las unidades microscópicas de la sustancia que sufre el cambio, las moléculas de agua, permanecen intactas. Lógicamente, para volver a la situación inicial bastará con utilizar medios físicos (por ejemplo, cambiar la temperatura del sistema), no es necesario alterar para nada la estructura de las moléculas. Dentro de las transformaciones físicas suelen incluirse también los procesos de disolución.

En una transformación química, sin embargo, la identidad de las sustancias que participan en el proceso se modifica, dando lugar a sustancias totalmente diferentes. Las unidades microscópicas que intervienen sufren alteraciones. Una transformación química recibe el nombre de reacción e implica siempre un cambio en la estructura de las moléculas participantes.

Las investigaciones realizadas sobre la comprensión por parte de los estudiantes de este tipo de transformaciones, muestran que aparecen dificultades a la hora de clasificar diversos fenómenos como cambios físicos o químicos (Gabel, Samuel y Hunn, 1987; Hierrezuelo y Montero, 1988; Fernández, Trigueros y Gordo, 1988; Stavridou y Solomonidou, 1989; Llorens, en prensa). Fernández *et al.*, trabajando con alumnos de 2º de BUP (15 años), detectan una cierta tendencia a asociar el cambio químico con la desaparición de una sustancia, mientras que cuando no hay desaparición de sustancia se interpreta como un cambio físico. Vemos que en este tipo de interpretaciones los estudiantes utilizan como criterio de clasificación "lo observable", se fijan nada más en las propiedades macroscópicas de la materia, permanece o desaparece, no tienen en cuenta para nada las propiedades microscópicas de esa materia. Sus observaciones están ligadas a lo espectacular.

El alumno parece no tener claro cuales son las evidencias por las que debe guiarse para distinguir un cambio físico de un cambio químico. El origen de esta confusión parece residir en que, para diferenciarlos, se necesita una visión discontinua de la materia. Las diferencias entre los dos tipos de cambio, en muchos casos, no son apreciables desde un punto de vista macroscópico, por lo que es necesario interpretarlos en términos corpusculares. Como ya vimos en el Capítulo 4, un gran número de alumnos no utiliza espontáneamente estas interpretaciones y entre los que las utilizan aparecen una serie de concepciones que pueden dificultar la comprensión de estos dos conceptos (véase Tabla 4.2).

En un trabajo realizado con alumnos griegos, entre 8 y 17 años de edad (Stavridou y Solomonidou, 1989) estudian las interpretaciones que se dan a una serie de fenómenos en los que tiene lugar una transformación de la materia (véase en el Apéndice la tarea nº 47). Distinguen dos categorías diferenciadas en las interpretaciones que los alumnos hacen de los fenómenos que se les presentan: interpretaciones estáticas, en las que no tienen en cuenta el cambio, e interpretaciones en las que si se considera un cambio.

Primera categoría (Visión estática)

Los alumnos que utilizan esta categoría no realizan comparaciones entre los estados inicial y final de las sustancias, interpretan los fenómenos más como sucesos estáticos que como auténticos cambios. Los autores detectan una causalidad lineal que a menudo se confunde con

las condiciones del fenómeno, dan respuestas como: "sucede a causa del aire", "sucede a causa del calor".

Segunda categoría (Idea de cambio)

Los alumnos consideran la idea de cambio, utilizando los siguientes criterios en la interpretación de los fenómenos:

- **Cambio natural.** Los alumnos hacen una distinción entre lo que pertenece a la naturaleza, lo natural, y lo que pertenece al ser humano, lo artificial. Cambio físico es, entonces, aquel que sucede por sí mismo en la naturaleza y cambio químico aquel que necesita de la ayuda del hombre.
- **Cambio simple.** Consideran como simples aquellos fenómenos que les resultan muy familiares, diferenciándolos de otros que les parecen más complejos.
- **Cambio de materia.** Cambios morfológicos. Los cambios se identifican y perciben en términos de los aspectos externos de los estados inicial y final de una sustancia. Se fijan en aspectos como el color o la desaparición de sustancia. Asocian los fenómenos químicos con la aparición de sustancias nuevas.
Aparece la noción de reversibilidad, consideran cambio físico aquel en el que la sustancia transformada es capaz de volver a su estado inicial. Por contra, cambio químico se asocia con la idea de irreversibilidad.
- **Criterios especializados.** Algunos alumnos utilizan criterios como combustión, fusión, dilución, etc., a la hora de clasificar e interpretar los cambios
Por otro lado, los criterios anteriormente señalados fueron utilizados por los alumnos de forma macroscópica, sin utilizar en ningún momento interpretaciones microscópicas de los fenómenos. Construyen sus criterios de clasificación en función de lo que ya conocen.
En las interpretaciones que acabamos de describir pueden reconocerse fácilmente las características principales del pensamiento causal, enunciadas en el Capítulo 2 cuando nos referíamos a este como un modelo de la comprensión de las Ciencias.

A continuación, una vez descritas las ideas que sobre la noción de cambio físico y cambio químico tienen los estudiantes, pasaremos a

estudiar con más profundidad la forma en que se percibe cada uno de los cambios que puede sufrir la materia y las dificultades que aparecen en su comprensión. Desarrollaremos cuatro apartados dedicados cada uno a un aspecto de los cambios o transformaciones de la materia. En el primero, vamos a describir los cambios de estado y las concepciones que tienen los estudiantes sobre este fenómeno. En segundo lugar, vamos a hablar sobre los procesos de disolución, las interpretaciones a que dan lugar sus aspectos cuantitativos. Un tercer punto estará dedicado a las reacciones químicas, principalmente la combustión y la oxidación, el ajuste de reacciones y las leyes estequiométricas. Por último, dedicaremos un cuarto punto a un aspecto que, aunque no se comienza a estudiar hasta el último curso de BUP o incluso COU, está directamente relacionado con las reacciones químicas: el equilibrio químico.

6.2 CAMBIOS DE ESTADO

Bastantes autores incluyen en sus trabajos sobre enseñanza de las Ciencias alguna tarea o problema relativos a los cambios de estado. Por tanto, no es este tema uno de los menos estudiados, lo que probablemente se deba a varias razones, entre las que podemos citar: la familiaridad del alumno con situaciones en las que se producen cambios de estado; la relación entre los conceptos calor y temperatura con el concepto de cambio de estado (los dos primeros han sido extensamente estudiados, muchas veces, mediante tareas en las que se producían cambios de estado), la facilidad, desde un punto de vista experimental, de proponer a los alumnos situaciones de cambios de estado (pueden llevarse a cabo con pocos medios y procedimientos sencillos) que, además permiten que los estudiantes realicen predicciones en las que pongan de manifiesto sus ideas al respecto.

En las páginas siguientes, intentaremos describir y explicar algunas de las principales concepciones alternativas que se han detectado, fundamentalmente en alumnos de 12 a 16 años.

Es importante, también, señalar que no todos los procesos de cambio de estado se han estudiado por igual. En la figura 6.1 se indican los más estudiados: fusión, evaporación y condensación.

FIGURA 6.1



A nuestro juicio, las concepciones alternativas que presentan los alumnos respecto a este tema, pueden clasificarse del siguiente modo (de acuerdo con su posible origen):

- Concepciones originadas por la confusión entre cambio químico y cambio físico.
- Concepciones originadas por las ideas del alumno sobre la estructura de la materia, los gases, los líquidos y los sólidos.
- Concepciones debidas a la falta de comprensión de los cambios de estado como procesos de transferencia de energía.

6.2.1 Concepciones originadas por la confusión entre cambio químico y cambio físico

Anteriormente hemos hablado de las dificultades que encuentran los alumnos para diferenciar los cambios físicos de los cambios químicos y sus ideas sobre estos conceptos (véase el apartado 6.1). Una de las respuestas que los alumnos de 14–15 años dan para explicar la condensación es que “la superficie fría y el aire, reaccionan para formar agua”, lo que indica los problemas que tienen para diferenciar ambos tipos de cambios. (Osborne y Cosgrove, 1983). Dibar y Colinvaux (1989), estudian las concepciones alternativas sobre los cambios de estado del agua en un grupo de estudiantes adultos, de edades comprendidas entre

los 15 y los 27 años, de nivel sociocultural muy bajo. Presentan a sus alumnos un recipiente con agua hirviendo y les preguntan qué ocurre con las burbujas que aparecen. Algunos contestan que "el agua se convierte en aire". En cualquier caso, para estos estudiantes, el cambio de estado ha provocado la aparición de una sustancia nueva, por lo que están atribuyendo al cambio físico una característica propia del cambio químico.

Llorens (en prensa), estudia la representación que un grupo de alumnos de FP-2 (16-18 años) hace de la evaporación. Encuentra que una tendencia muy acusada *"es la interpretación de la evaporación del agua como la separación de los átomos que forman sus moléculas"*, representándola como un proceso de cambio químico.

6.2.2 Concepciones originadas por las ideas del alumno sobre la estructura de la materia, los gases, los líquidos y los sólidos

Parece obvio que, las explicaciones que los alumnos dan sobre los cambios de estado tienen mucho que ver sus concepciones sobre los sólidos, los líquidos y los gases, (capítulo 5) puesto que en los cambios de estado se produce el paso de una determinada sustancia de un estado de la materia a otro.

Una explicación completa del cambio de estado requiere una interpretación del proceso en términos corpusculares. El alumno ha de aplicar su conocimiento de la teoría atómico-molecular para explicar estos procesos, de ahí que sus ideas sobre las partículas afecten notablemente a estas explicaciones.

En general, desde nuestro punto de vista, teniendo en cuenta lo que hemos venido comentando en anteriores apartados, las ideas del alumno respecto al cambio de estado podrían clasificarse del modo siguiente, utilizando como criterio de clasificación el tipo de explicación que dan los estudiantes: concepciones debidas a la explicación del cambio de estado como un proceso macroscópico y concepciones debidas a la explicación del cambio de estado, como un proceso microscópico, que el alumno interpreta, de acuerdo con sus ideas sobre las partículas.

En ambos tipos de concepciones, podemos encontrar ejemplos en los que se manifiestan las dificultades que algunos alumnos tienen con las conservaciones de la masa, el peso y el volumen, especialmente con las dos primeras que, en general, se han estudiado más. Por ejemplo, si presentamos a los estudiantes un recipiente abierto con perfume, del cual, al cabo de unas horas se ha evaporado cierta cantidad, la mayoría de los alumnos no conservará la masa, ni probablemente, el peso. Sucedería lo mismo, si calentáramos agua en un recipiente, también cerrado, hasta que hierva y recogemos el vapor de agua condensado en la tapadera.

a) Concepciones debidas a la explicación del cambio de estado como un proceso macroscópico

Son las más frecuentes. Un gran número de alumnos de 12 a 16 años explican los cambios de estado basándose en propiedades macroscópicas. Por ejemplo, creen que la condensación de vapor de agua sobre los cristales de las ventanas se deben a que "los cristales sudan".

En muchas ocasiones, estas explicaciones son "ad hoc" (Llorens, en prensa) y están guiadas por cambios perceptivos, por las transformaciones observadas durante el cambio de estado y/o por las experiencias de la vida cotidiana. Por ejemplo, algunos autores han preguntado a los alumnos si, determinados sólidos, podían convertirse en líquidos, aumentando la temperatura. La mayoría de los alumnos de 12 años a los que se encuestó contestaron que algunos como el hierro, el oro o el plomo, sí, pero, otros como el aluminio, el diamante o la sal, no. *"Las razones de estas predicciones se basaban en distintos tipos de experiencia previa, directa o vicaria. . . o en relación con alguna propiedad observable de la sustancia en cuestión, (por ejemplo, porque "es duro")"* (Erickson, 1985).

Para ilustrar este tipo de explicaciones con ejemplos concretos, recogemos en la tabla 6.1 algunas de ellas, relativas a los tres tipos de cambios de estado que más se han estudiado: fusión, evaporación y condensación.

TABLA 6.1

**Explicaciones macroscópicas de la fusión,
la condensación y la evaporación**

	Ideas del alumno	Tareas (*)	Autor	Tamaño y edad de la muestra
Fusión	El paso de sólido a líquido se debe a las diferencias de temperatura entre el exterior y el inferior.	14	Brook, Briggs, Bell, Driver	300 alumnos de 15 años
		38		
Condensación	El agua condensada es "sudor"		Osborne y Cosgrove	12-17 años
			Dibar y Colinvaux	15-27 años
	El agua pasa a través del cristal	34	Osborne y Cosgrove	12-17
	El oxígeno y el hidrógeno del vapor vuelve a recombinarse para formar agua.	43	" "	" "
Evaporación	El líquido pesa más que el gas	12b	Furió	10-15
	Las burbujas están hechas de aire.	42	Osborne y Cosgrove	12-17
			Dibar y Colinvaux	15-27
	Vapor = Aire		Osborne y Cosgrove	12-17
	El agua que se evapora, desaparece	43	" "	" "
	El agua que se evapora, pasa al aire y vuelve en forma de lluvia.	"	" "	" "
	El agua que se transforma en aire: la naturaleza de la sustancia cambia durante el cambio de estado	"	" "	" "

TABLA 6.2

**Explicaciones microscópicas de la fusión,
la condensación y la evaporación**

	Ideas del alumno	Tareas	Autor	Tamaño y edad de la muestra
Fusión	Las fuerzas entre las partículas se debilitan al aumentar la temperatura, y por ello, se produce la fusión.	14 38	Brrok, Briggs, Bell, Driver.	300 alumnos de 15 años.
Condensación	Creer que se produce un cambio en la densidad de las partículas. Dibujan las partículas en el fondo del matraz o pegadas a las paredes, tras producirse la transformación.	4	Llorens Novick y Nuss- baum	14-15 años
Evaporación	Al dibujar este proceso, separan los átomos que forman las moléculas. Se explica como un alejamiento de las partículas Los átomos se "alargan"	16	Llorens " " Gabel	Alumnos de 2 de FP (16-18). "

4) Concepciones debidas a la explicación del cambio de estado como un proceso microscópico, que el alumno interpreta de acuerdo con sus ideas sobre las partículas.

En este tipo de explicaciones, como se puede ver en la tabla 6.2, en la que se indican algunas ideas que utilizan los alumnos para explicar los procesos de fusión, evaporación y condensación, aparecen muchas de las concepciones alternativas sobre las partículas que expusimos en el apartado 4.1:

- Las partículas no están en continuo movimiento (por lo que difícilmente entenderán el cambio de estado).
- Se atribuyen propiedades macroscópicas a las partículas, por ejemplo, las partículas se derriten.

- Falta de comprensión de los conceptos de sólido, líquido y gas, en relación a la distribución, proximidad y orden de las partículas; algunos explican la evaporación diciendo que se produce un alejamiento de las partículas.
- Ausencia de conservación de la forma de las partículas; según Driver, para los alumnos, en la evaporación, los átomos de las partículas “se alargan”.

6.2.3 Concepciones debidas a la falta de comprensión de los cambios de estado como proceso de transferencia de energía

Desde un punto de vista científico, el proceso de cambio de estado se caracteriza por producirse una transferencia de energía —a presión constante—, del sistema que tiene más temperatura al que tiene menos. Por tanto, para que se efectúe dicho proceso en estas condiciones es necesario que haya una diferencia de temperaturas y además, que la sustancia alcance un punto crítico característico de cada una de ellas, que, según el tipo de proceso del que se trate, recibirá el nombre de punto de ebullición, punto de fusión, etc.

Otro aspecto importante del cambio de estado es que, durante el cambio de fase, la temperatura permanece constante; esto es, si tomamos un bloque de hielo y lo colocamos en un recipiente al que comunicamos calor, mientras quede hielo sin fundir, el termómetro marcará cero grados centígrados. Únicamente, cuando todo el hielo se haya transformado en agua, la temperatura aumentará, siempre y cuando continuemos suministrando energía al sistema.

Desde un punto de vista corpuscular diremos que, en el cambio de estado, la energía que gana o pierde la sustancia que va a cambiar de estado se va a emplear en aumentar o disminuir el movimiento de las partículas, y, por tanto, la energía cinética de las mismas; lo que provocará, siempre que se alcance el punto crítico, al que antes hacíamos referencia, que la sustancia cambie de estado.

Para el alumno, todas estas consideraciones que acabamos de resumir no son tan fáciles como, en principio, podría parecer. En primer lugar, tiene dificultades para diferenciar los términos “energía”, “calor” y “temperatura” (Appleton, 1984; Erickson, 1985; Brook *et al*, 1983). Según Erickson, *“temperatura y energía describen el estado de un sistema, pero, mientras la temperatura es un parámetro intensivo, la ener-*

gía, lo es extensivo, y, por tanto, está relacionado con la cantidad de sustancia. La propiedad extensiva de la energía, parece más accesible para los alumnos, en contenidos cotidianos”.

En un trabajo, realizado con estudiantes de 12 a 16 años, Erickson (1985) pidió a los sujetos que señalaran las diferencias que encontrarán entre calor y temperatura. Un 25%, no encontró ninguna diferencia. Otras respuestas alternativas fueron: “la temperatura, es un efecto del calor”, “el calor es una cosa que eleva la temperatura”, etc. Brook *et al* (1983) obtienen, también, respuestas semejantes a estas.

Parece claro que, en general, no se entiende el calor como una transferencia de energía, ni la temperatura como una forma de medir la energía media de las partículas de un sistema.

Otra idea, que resulta “contraintuitiva” para el alumno (Erickson, 1985) es el hecho de que la temperatura permanezca constante durante el cambio de fase. Según Tiberghien (1985), *“la mayor parte de los alumnos entre 10 y 13 años, no sabe que la temperatura permanece constante, durante el cambio de estado del agua o del hielo, hasta que recibe alguna enseñanza sobre el tema”*. En el estudio que esta autora realiza con estudiantes franceses entre 10 y 14 años, sólo el 20% o menos, concocía algo sobre este tema, o sabía a qué temperatura hierve el agua o se funde el hielo.

Driver y Rusell (1981) y Andersson (1979), encuentran estos mismos resultados en alumnos de 15 años. Andersson, en una investigación en la que participaron 400 alumnos suecos entre 12 y 15 años, puso de manifiesto que, la mayoría de los estudiantes, *“predecían que, la temperatura del agua hirviendo, permanecería a 100 grados centígrados, en la medida en el selector de la placa se mantuviera constante”*; si se aumentaba el calor proporcionado por la placa, el 80% de los alumnos más pequeños y el 54% de los de 15 años, predecían un aumento de la temperatura del agua que estaba hirviendo.

La constancia de la temperatura durante el cambio de estado es estudiada, también, por Brook *et al* (1983). Pasan a los sujetos de su muestra las tareas núm. 35 y 36 del Apéndice. Sólo un tercio de los 300 alumnos participantes contestó que la temperatura permanecía constante durante el cambio de estado, y que el calor suministrado se necesitaba para conseguir el cambio de fase. Un quinto de los estudiantes no distinguían claramente entre calor y temperatura. Un 20% hacía referencia a experiencias de la vida cotidiana. Por ejemplo, en la tarea de las patatas, en la que las llamas del dibujo tocaban los lados del

recipiente, pero no la base, para estos alumnos, en el cacharro puesto al máximo, las patatas no se harían, puesto que el fuego no les llega directamente. Para otros, en ese mismo cacharro, tampoco se cocerían porque, al estar el fuego al máximo, el agua en la que están las patatas, se evaporaría y no se cocerían, sino que, probablemente, se quemarían. En la tarea de los guisantes, algunos pensaban que, para que se cuezan bien, hay que descongelarlos previamente, para que estén sueltos y se hagan bien; por ello, para estos estudiantes, tardarían más en hacerse si se echan sin descongelar. Por último, otro quinto de las respuestas fueron confusas o se dejaron en blanco.

La dificultad de la tarea 37 del Apéndice, investigada por Brook *et al*, radica en que no hay ninguna fuente externa de calor, la energía que se transfiere procede de la energía interna del agua, por lo que la temperatura de ésta desciende. El tránsito de energía se produce de "dentro a fuera" en lugar de "de fuera a dentro".

Los resultados obtenidos son muy significativos, puesto que, ¡sólo un 6%! entendió la tarea como un cambio de estado en el que se requiere una transferencia de energía. No consideraron esta tarea como un proceso de evaporación del agua. Las respuestas más frecuentes fueron:

- Un 11% indicó que el agua que se movía a través de los poros estaría más fresca que el resto y, así, la contenida en el recipiente se mantendría fresca.
- Un 21% señalaba al aire como el responsable de que el agua se mantuviera fresca. El aire ventilaría el agua del recipiente.
- Un 6% decía que el agua que taponaba los poros evitaba que el calor entrara y, por tanto, que el agua se calentara.
- Un 5% argumentaba que el recipiente era un buen aislante.
- Un 4% pensaba que la arcilla era un material, de por sí, fresco.

En este sentido, Erickson (1985) señala también que, para los niños entre los 8 y 12 años, los objetos están fríos o calientes de acuerdo con el material del que están hechos. Así, los de metal serían más fríos que los que están hechos de madera. Estos niños "*tienden a hacer juicios sobre la temperatura de un objeto, basándose más en la naturaleza del material, que en la temperatura del medio ambiente que le rodea*". Brook *et al*, afirman que los alumnos no aprecian que las sustancias que están en contacto están a la misma temperatura. Lo que sugiere,

desde su punto de vista, que cada sustancia tiene, para ellos, una temperatura "natural". Por ello, para estos niños, la temperatura de los objetos de metal siempre será inferior a la de los que están hechos de plástico o de madera, tal como decíamos antes.

Otra conclusión importante, que puede extraerse de esta tarea del recipiente poroso, es que es mucho más difícil reconocer el cambio de estado cuando no hay una fuente de calor visible, como ocurre en este caso. Los resultados obtenidos en esta tarea y en otras sobre conducción del calor (Tareas nº 39 y 40), investigadas por Brook *et al*, parecen demostrar que los alumnos comprenden mejor aquellas situaciones en las que el calor, la energía, se transfiere hacia el cuerpo o el sistema, que aquellas en las que la transferencia de energía parte del cuerpo o el sistema al medio ambiente (como sucede en el caso del recipiente de arcilla).

Erickson (1985) comenta que la mayoría de estudiantes no comprenden por qué, durante el cambio de fase, la temperatura permanece constante: "*da la sensación de que, esta comprensión, exige alguna explicación en el nivel molecular*". Ciertamente, en nuestra opinión, gran parte del problema de estos alumnos radica, probablemente, en que no poseen una visión discontinua de la materia y, aún cuando la tienen, dado que, como hemos visto, su comprensión de la misma es muy limitada, la aplican inadecuadamente.

En la tarea 38, tomada de Driver (1984), se pide a los estudiantes que expliquen por qué la temperatura permanece constante durante la fusión del hielo. Se les pide, también, que ilustren sus explicaciones con dibujos. Sólo un 1% explicó el problema refiriéndose al comportamiento de las partículas. Un 36% no respondió o lo hizo de un modo confuso, un 7% utilizó algunas concepciones alternativas sobre las partículas (que se recogen en la tabla 4.2 y el resto dió explicaciones descriptivas, pero no explicativas.

Como conclusión de lo expuesto en este apartado podemos decir que:

- 1) Muchos alumnos, entre 12 y 16 años, no parecen comprender totalmente los cambios de estado. Para Brook *et al*, sólo 1 de cada 20 los explica correctamente.
- 2) La mayoría de los estudiantes no suelen explicar los cambios de estado en términos corpusculares y, cuando lo hacen, utilizan concepciones alternativas sobre las partículas.

TABLA 6.3

**Concepciones alternativas de los alumnos
sobre el cambio de estado**

1. Confusiones originadas por la confusión entre cambio físico y cambio químico.	-Separación de los átomos que forman las moléculas de la sustancia que cambia de estado (tareas de representación).
	-Algunos, explican la condensación como una "reacción" entre una superficie fría y el aire, para formar agua.
	-La disminución de la masa, un aumento de peso o volumen, se considera señal de que ha habido cambio químico.
	-La dilatación que se produce al calentar algo, también se considera signo de cambio químico.
	-El que una sustancia se derrita, es considerada, a veces, también, señal de cambio químico.
2. Concepciones originadas por las ideas de los alumnos sobre la estructura de la materia, los gases, los sólidos y los líquidos.	-Explicación del cambio químico como un proceso microscópico, que el alumno interpreta, de acuerdo con sus ideas sobre las partículas (ver tabla 2).
	-Explicación del cambio de estado como un proceso macroscópico.
3. Concepciones debidas a la falta de comprensión de los cambios de estado como procesos de transferencia de energía.	-Confusión entre calor y temperatura
	-Interpretar el cambio de estado como un proceso en el que se suministra calor mediante una fuente visible.
4. No comprender que durante el cambio de estado, la temperatura permanece constante.	-Los cambios de estado son vistos como un proceso continuo: las diferencias de temperatura del interior y del exterior, de un bloque de hielo, por ejemplo, explican el cambio de estado.

- 3) Los alumnos más pequeños desconocen la existencia de un punto crítico característico de cada sustancia, a partir del cual se produce el cambio de estado.
- 4) Un punto bastante oscuro para bastantes alumnos, en muchos casos desconocido, es la constancia de la temperatura durante el cambio de fase.
- 5) Son muy frecuentes las explicaciones macroscópicas, basadas en lo perceptivo y en experiencias de la vida cotidiana.
- 6) Muchos alumnos tienen dificultades para distinguir los cambios de estado de los cambios químicos.

6.3 DISOLUCIONES

Las distintas sustancias químicas que componen la materia pueden agruparse formando mezclas. En las mezclas cada una de las sustancias que intervienen conserva su identidad y sus propiedades específicas, pudiendo separarse por medios puramente físicos. Según haya o no partes diferenciadas, las mezclas se dividen en heterogéneas y homogéneas. En una mezcla heterogénea, por ejemplo, arena y agua, aparecen partes diferenciadas, puede observarse dónde se encuentra la arena y donde se encuentra el agua, el sistema no tiene la misma composición en todas sus partes. Las mezclas homogéneas reciben el nombre de disoluciones. En una disolución 'ordinaria', azúcar en agua, por ejemplo, las dos sustancias que la forman se encuentran distribuidas homogéneamente por el sistema, sus propiedades son las mismas en cualquier parte o muestra de él. Sin embargo, éstas varían según las cantidades relativas de las sustancias participantes, cantidades que podemos variar a voluntad.

En una disolución con dos o más componentes nos encontramos con que su masa final es la suma de las masas de las sustancias que intervienen, es decir hay una conservación de la masa. Por otra parte, no tiene por qué darse una conservación del volumen. Las partículas que forman una de las sustancias pueden introducirse en los huecos que dejan libres las de la otra sustancia, de forma que el volumen final puede ser menor que la suma de los volúmenes de los componentes.

6.3.1 Interpretaciones sobre el proceso de disolución

Son pocas las investigaciones que se han realizado sobre las interpretaciones que los estudiantes hacen del fenómeno de disolución. De ellas parece deducirse que, en gran medida, sus explicaciones están basadas en la percepción que tienen del fenómeno, en aquello que han observado en su vida cotidiana, en los cambios de aspecto y de las propiedades macroscópicas de las sustancias.

Las primeras nociones de los niños sobre el proceso de disolución, tal como indicaron Piaget e Inhelder, están basadas en la percepción. Así, por ejemplo, en investigaciones realizadas con niños neozelandeses (Driver, 1985) se encuentra que, al mostrarles una cucharada de azúcar que se disuelve en agua, dan explicaciones del fenómeno en las que aparece la palabra "fundir", utilizada algunas veces como sinónimo de disolver (13 años). Ellos observan que en el proceso de disolución la sustancia está pasando de sólido a líquido. En otros casos, explican que el azúcar se queda en el fondo del recipiente aunque no se vea (Serrano y Blanco, 1988; véase en el Apéndice la tarea nº 48).

Algunos, al observar que cambian las propiedades macroscópicas del azúcar, llegan incluso a rechazar que el azúcar siga allí. Dan explicaciones del tipo: "... el azúcar se ha combinado con el agua para formar esta sustancia..." (12 años).

Desde el punto de vista de la conservación, Piaget e Inhelder establecieron que en las disoluciones se adquiere en primer lugar la noción de conservación de la sustancia, después la de masa y peso y, por último, la noción de conservación del volumen.

En investigaciones realizadas sobre las ideas de conservación de la materia (Driver, 1985), se ha encontrado que gran cantidad de estudiantes, al explicar la disolución del azúcar en agua, predicen que la masa de la solución será menor que la suma de las masas de agua y azúcar. Las explicaciones dadas por los alumnos sobre este fenómeno son clasificadas por Driver en tres grupos:

1. *El azúcar desaparece al disolverse.* A los estudiantes, influidos por la percepción, se les hace muy difícil apreciar que la transformación que tiene lugar al disolver el azúcar es reversible y, por tanto, no asimilan la idea de la existencia continuada del azúcar.
"cuando el azúcar se disuelve en el agua, el azúcar no tiene masa..."

2. *Confusión de masa y volumen.* Establecen una relación entre la masa de la disolución y el aumento del nivel del agua.
“el azúcar ocupa el espacio que queda entre las moléculas de agua... , por tanto la masa no cambia”.
Esta confusión sigue manteniéndose incluso en algunos alumnos que utilizan interpretaciones en términos de partículas.
3. *El azúcar está todavía presente en la solución pero es más ligero.* Consideran que el azúcar al disolverse no tiene masa, o bien que los líquidos son más ligeros que los sólidos (véase el Capítulo 5).
“como el azúcar se ha disuelto, no queda peso de azúcar”.
“el azúcar se descompondrá y formará un líquido con el agua, por lo que pesará menos”.

Un problema relacionado en parte con la conservación es el detectado en algunos estudios sobre la comprensión del proceso de disolución. Se ha encontrado que los estudiantes tienen dificultades con el concepto de diluir o concentrar una disolución (Gabel y Samuel, 1986), no comprenden qué ocurre cuando en una disolución dada se varía la cantidad de una de las sustancias participantes manteniendo constante la de la otra. Este problema, por otra parte, como se expondrá un poco más adelante estaría relacionado con la cuantificación (en concreto con el cálculo proporcional) pues, aunque una de las sustancias conserva su cantidad absoluta, varía la proporción dentro del sistema.

En gran parte, las dificultades descritas, podrían explicarse en base a las nociones de los alumnos sobre la continuidad y discontinuidad de la materia citadas en el Capítulo 4 de este trabajo. Prácticamente no utilizan de forma espontánea la idea de *partícula en sus explicaciones*. Por ello, algunos autores (Gabel, Samuel y Hunn 1987) proponen que se utilicen estrategias de enseñanza en las que se describa la disolución por medio de diagramas de partículas. Proponen, por ejemplo, que se utilicen *esquemas en los que se muestre como se mezclan las partículas de soluto con las de disolvente*.

6.3.2 Relaciones cuantitativas en las disoluciones

Desde el punto de vista cuantitativo las disoluciones se caracterizan por su concentración, por la relación existente entre la cantidad de soluto contenido en la disolución y la cantidad de esta o de disolvente. Esta concentración puede expresarse de diversas formas, aunque,

habitualmente, se define como la cantidad de sustancia de soluto, expresada en moles, por unidad de volumen de disolución, expresada en litros, recibiendo en este caso el nombre de molaridad.

Al estudiar las dificultades que aparecen a la hora de resolver problemas de disoluciones debemos tener en cuenta, en primer lugar, las dificultades conceptuales. Los alumnos necesitan comprender previamente los fenómenos que tienen lugar en una disolución y las ideas y conceptos relacionados con ellos (soluto, disolvente, concentración, etc). En la mayoría de las ocasiones, los alumnos han de utilizar el concepto de mol en sus cálculos. Por ello, a las dificultades propias de la comprensión del proceso de disolución habrá que añadir las de este concepto. Recordemos que, como ya se citó anteriormente (ver Capítulo 4), el mol es uno de los conceptos que más dificultades plantea a los estudiantes de química, manifestándose principalmente estas en las relaciones entre cantidad de sustancia y concentración (Frazer y Servant, 1987). Se observan, a su vez, dificultades para distinguir entre el concepto de mol y el concepto de concentración molar (Schmidt, 1984) que, como ya se vió, han tratado de ser explicadas por algunos autores basándose en semejanzas fonéticas entre palabras como mol, molécula, molar, etc. (Novick y Menis, 1976) y en los distintos significados que puede tener el término molar (Packer, 1988).

Uno de los errores que aparece frecuentemente en la resolución de problemas de disoluciones y que, también, podemos considerar como una dificultad conceptual, es la utilización incorrecta del concepto de concentración, a la hora de establecer las relaciones cuantitativas entre soluto y disolvente, por desconocimiento o aplicación errónea de las relaciones que han de utilizarse (Frazer y Servant, 1987; Duncan y Johnstone, 1973).

En las disoluciones, al igual que en la mayoría de los cálculos que se realizan en Química, hay que tener en cuenta la necesidad de utilizar el cálculo proporcional. Nos encontramos con que la concentración de una disolución es función de dos variables, directamente proporcional a una, la cantidad de sustancia, e inversamente proporcional a la otra, el volumen de la disolución. Esta doble dependencia va a ser, a la hora de evaluar las concentraciones, una de las responsables de los errores y dificultades que aparecen en la resolución de problemas de disoluciones. Así, resultan más fáciles de resolver los problemas en los que cambia una sola variable, sobre todo cuando lo que cambia es la cantidad de so-

luto (directamente proporcional a la concentración). Los problemas se hacen más difíciles cuando lo que cambia son las dos variables (Serrano y Blanco, 1988; véase en el Apéndice la tarea nº 48).

Esta doble dependencia podría ser también, en parte, la responsable de las grandes dificultades que, según describen varios autores (Gabel y Samuel, 1986; Gabel, Samuel y Hunn, 1987), para los estudiantes plantean aquellos problemas en los que hay una variación de las cantidades relativas de soluto o disolvente, aquellos en los que se concentra o diluye una disolución. Aunque, por otra parte, no debemos olvidarnos del papel tan fundamental que en la comprensión de estos procesos tiene la noción de conservación.

Se observa que, a la hora de comparar y evaluar concentraciones, se fijan más en una sola de las variables que en el valor numérico de esa concentración. Se fijan únicamente en la cantidad de sustancia o sólo en el volumen, tal como puede observarse en los resultados de un test aplicado por Duncan y Johnstone (1973). Esto se corresponde perfectamente con una de las estrategias erróneas descritas en el capítulo 3 para el cálculo proporcional, la estrategia cualitativa.

Los problemas con proporciones en las que se emplean números altos resultan más complejos para los alumnos que aquellos en los que se utilizan números sencillos. Así, se ha observado que, siempre que se modifique una sola variable, manejan bien, de forma cualitativa (color de una disolución), las proporciones simples 1:2 y 2:1. Por ejemplo, son capaces de comparar con éxito las concentraciones de dos o más disoluciones coloreadas (Serrano y Blanco, 1988).

A la hora de realizar cálculos proporcionales, resultan más sencillos de resolver los problemas en los que hay que utilizar una relación proporcional directa que aquellos en los que aparece una proporcionalidad inversa. En esta línea se ha encontrado que, en la resolución de problemas de disoluciones, aparece entre los alumnos una cierta tendencia a establecer una relación proporcional directa entre la concentración y el volumen (Anamuah-Mensah, 1986). Se encuentran respuestas en las que indican que al aumentar la cantidad de disolvente aumenta la concentración ya que aumenta el volumen de la disolución o, al revés, cuando disminuye el volumen de disolución disminuye la concentración.

6.4 REACCIONES QUIMICAS

En la vida cotidiana podemos observar numerosos ejemplos de cambios químicos de la materia. Vemos como arden una vela o un papel y como el motor de un automóvil quema gasolina produciendo energía para moverlo. Las plantas convierten dióxido de carbono y agua en sustancias químicas más complejas. Por medio de procesos químicos se obtienen materiales como el acero y sustancias muy importantes para el hombre como son los medicamentos y los plásticos. Todos estos procesos tienen en común que a partir de unas determinadas sustancias se obtienen otras totalmente diferentes.

Las sustancias químicas están formadas por combinaciones de átomos de uno o más elementos, las moléculas. Estas moléculas pueden sufrir una interacción para dar lugar a otras diferentes, este proceso recibe el nombre de reacción química. En este proceso, a partir de unas sustancias a las que llamamos reactivos, se obtienen unas sustancias diferentes llamadas productos. Se produce una reorganización de los átomos combinados en las moléculas de los reactivos para obtener otras moléculas diferentes, las de los productos.

En las reacciones químicas se conserva el número de átomos de cada elemento, el número de átomos al principio es igual al número de átomos al final, por tanto, la masa total de las sustancias que reaccionan es igual a la masa total de las sustancias que se obtienen. Esta expresión, conocida como Ley de Conservación de la Masa, enunciada por Lavoisier a partir de sus observaciones en el año 1785, es la base de las leyes estequiométricas que explican las relaciones cuantitativas dentro de las reacciones químicas.

En esta parte de la química se dan cita los tres grandes núcleos que citábamos en el Capítulo 3. Los estudiantes, para poder comprender correctamente las reacciones químicas, deben manejar con soltura la noción de discontinuidad de la materia. No sólo en su aspecto más elemental, la materia formada por partículas, sino a un nivel más elevado, las partículas son átomos que se combinan formando moléculas. Por otra parte, deben comprender la conservación de estas partículas durante el transcurso de la reacción. Y, por último, a la hora de establecer relaciones cuantitativas deben usar en la mayoría de los casos los cálculos proporcionales.

6.4.1 Ideas sobre las reacciones químicas

Cuando nuestros alumnos comienzan a estudiar química han tenido contacto con numerosos fenómenos de la vida cotidiana que implican reacciones químicas. Han visto arder numerosas sustancias (papeles, madera, etc), han observado cambios de color al mezclar sustancias diferentes, han podido ver como a partir de un sólido y un líquido se desprende un gas o, incluso, han jugado con equipos caseros de química. Esto hace que todos posean una experiencia con la que abordan las enseñanzas escolares.

Se han realizado varios estudios sobre como interpretan las reacciones químicas los niños y adolescentes, estando basados, la práctica totalidad de ellos, en procesos de combustión (madera, velas, alcohol, etc) y de oxidación de metales. Ambos procesos resultan ser iguales desde el punto de vista químico, la interacción de una sustancia con el oxígeno, sin embargo, desde el punto de vista perceptivo son fenómenos totalmente diferentes. En la combustión se producen gases y prácticamente parece que desaparece la sustancia, mientras que en la oxidación de un metal vemos que la sustancia cambia de aspecto pero sigue habiendo un sólido que, incluso, en algunos casos parece aumentar de tamaño. Por ello no debemos extrañarnos de que los estudiantes puedan llegar a interpretarlos de diferente manera y tengan ideas diferentes sobre uno y otro. En este trabajo vamos a hablar de oxidación y de combustión como si fueran procesos diferentes.

En los trabajos sobre combustión y oxidación, realizados principalmente con niños de edades comprendidas entre 11 y 12 años (algunos llegan hasta 16 años), se han utilizado dos tipos de problemas que implican reacciones químicas: combustión de una tablilla de madera y oxidación de un metal (Driver, 1985 y Meheut, Saltiel y Tiberghien, 1985). En el primero se mostraba a los alumnos una tablilla ardiendo y las cenizas que quedaban al final. En el segundo se les enseñaban unas limaduras y unos clavos que habían permanecido en agua hasta que se habían oxidado y una esponja metálica a la que se hacía arder hasta que se oxidaba completamente y quedaba totalmente negra (véase en el Apéndice la tarea nº 49).

En las interpretaciones que los alumnos dan a estos problemas se destacan una serie de ideas que podemos clasificar de la siguiente manera (véase un resumen en la tabla 6.4):

TABLA 6.4

Ideas más importantes sobre la oxidación y la combustión

- El aire o el oxígeno son necesarios para la reacción pero no participan activamente en ella.
- Las sustancias permanecen a lo largo de la reacción aunque pueden cambiar sus propiedades.
- No se forman nuevas sustancias.
- Los átomos de oxígeno no se combinan con las moléculas del combustible.

a) Papel del aire y del oxígeno.

Se encuentra que una muestra importante de alumnos no menciona el aire ni el oxígeno en sus explicaciones sobre la combustión si bien, cuando se les pregunta explícitamente sobre su papel, reconocen que son necesarios. Sin embargo, se encuentra que, aunque admiten su necesidad, no tienen muy clara cuál es su función. En sus explicaciones no consideran que el aire participe activamente, muy pocos captan que el oxígeno se combina químicamente con la sustancia que sufre la combustión. Para ellos el aire, o el oxígeno, tienen que estar presentes aunque no participen en la combustión. Utilizan una concepción del aire muy próxima a la del éter de los físicos prerrelativistas.

b) Cambios en las sustancias que sufren la combustión.

Los alumnos atribuyen, generalmente, la formación de productos en una combustión a la transformación de una sustancia, no consideran que pueda existir una combinación química entre varios compuestos (Meheut, Saltiel y Tiberghien, 1985). Interpretan que la sustancia permanece aunque adoptando otra forma (cambian sus propiedades pero permanece su identidad): la vela al quemarse se funde, el alcohol al arder se evapora (Driver, 1985; Carbonell y Furio, 1987; véase en el Apéndice la tarea nº 50).

Cuando se les muestra una tablilla ardiendo y las cenizas que quedan después de la combustión consideran que la ceniza es el

material incombustible que hay en la madera. Driver encontró que una tercera parte de los alumnos entrevistados interpretaba que las cenizas eran la misma tablilla que había cambiado de aspecto.

En esta misma línea se encuentran las interpretaciones sobre la presencia de agua entre los productos de la combustión. En muchos casos se relaciona con su existencia previa en el material combustible.

Lo mismo ocurre cuando se estudia la oxidación de un metal, consideran que no se forma nada nuevo, el óxido es hierro transformado (“... el óxido forma parte del clavo”) y el estropajo oxidado es el mismo estropajo que teníamos (“... después de arder será el mismo estropajo en forma de polvo...”).

c) Las llamas

Los alumnos asocian los procesos de combustión a la presencia de llamas y a que la sustancia se ponga al rojo. Se encuentra que para algunos niños las llamas, aparentemente, representan el agente causante de la transformación. Así, explican que la llama: “come”, “funde” o “disuelve” la madera (Driver, 1985).

En la mayoría de los casos se encuentra que, para explicar las reacciones químicas, los estudiantes no utilizan argumentos que impliquen una combinación química del combustible con el oxígeno del aire. Para ellos las sustancias no sufren un cambio en su estructura microscópica, un cambio químico, siguen siendo las mismas, aunque cambie alguna de sus propiedades (color, forma, etc). Incluso cuando utilizan términos como “fundir” o “disolver” están indicando un cambio en las propiedades macroscópicas de las sustancias, dan una explicándolo en función de fenómenos que les son más familiares. Vemos en las interpretaciones anteriores muchas de las características del pensamiento causal del alumno, descritas en el Capítulo 2.

En pocos casos utilizan razonamientos en términos de partículas en sus interpretaciones de las reacciones. Entre los que lo hacen, algunos tratan al mundo atómico como una extrapolación del mundo macroscópico (Driver, 1985 y Andersson, 1986). Interpretan, por ejemplo, que si la madera arde también lo harán las moléculas de madera.

En un estudio realizado con alumnos de High School (15 o más años) en Israel (Ben-Zvi, Eylon y Silberstein, 1987), se propone un ejercicio en el que se les pide que indiquen, a partir de N_2 (nitrógeno) y O_2 (oxígeno), qué productos pueden obtenerse (se les dan cinco posibilidades). Estudiando las respuestas que dan se encuentra que no conciben la reacción química como una recombinación de átomos, sino como un proceso de tipo aditivo. Se encuentra que para ellos no existe diferencia entre las expresiones " $N_2 + O_2$ " y " N_2O_2 ". Dan respuestas del tipo: "... el NO no se forma porque el N_2 no se puede descomponer y el O_2 tampoco...", "... el N_2O_5 no se puede formar porque no tenemos ni N_2 ni O_5 ...", etc. Están dando explicaciones sobre los fenómenos basadas en una causalidad lineal y simple, tal como describimos en el capítulo 2.

6.4.2 La conservación en las reacciones químicas

Driver (1985) estudió las ideas sobre conservación en las reacciones químicas con los dos tipos de problemas que describimos anteriormente: combustión de una tablilla de madera y oxidación de un metal. Encontró que, en ambos casos, aproximadamente una tercera parte de los alumnos considera que la masa no cambia con la reacción, la masa de las cenizas o del metal oxidado es la misma que la de la sustancia inicial (a pesar de que se desprendan gases, en la combustión, o se combine oxígeno con el metal, en la oxidación). Utilizan el argumento, ya expuesto, de que la sustancia que se obtiene es la misma, tan solo ha cambiado de aspecto.

En el caso de la combustión de la tabla de madera, las interpretaciones en las que consideran que no se conserva la masa se basan todas en la presencia de las cenizas, consideran que son más ligeras que la madera. Sus explicaciones incluyen dos argumentos diferentes, uno en el que consideran que con el humo se escapa algo y otro en el que atribuyen una mayor ligereza a las cenizas en función de su textura (las cenizas son polvos y estos son más ligeros que los sólidos).

Para estudiar la oxidación se han utilizado los fenómenos ya descritos anteriormente, la oxidación de clavos y el estropajo de lana metálica al que se acerca una llama y se hace arder hasta que queda totalmente negro. En ambos casos se les pide al final que estimen si la masa, después del proceso, aumenta, disminuye o permanece igual.

Entre los alumnos que consideran que no se conserva la masa, encontramos dos grupos, unos consideran que aumenta y otros que disminuye. En el grupo de los que consideran que aumenta, muy pocos dicen que el metal se combine con el oxígeno, más bien atribuyen el aumento de masa a cambios físicos del tipo “el hollín de la llama se adiciona al metal”. También aparecen interpretaciones en las que se considera que la sustancia final es diferente a la inicial y explican, por ejemplo, “el hierro se ha transformado en carbón... una sustancia más pesada”.

Entre los que consideran que la masa disminuye al oxidarse aparecen los siguientes argumentos: “se consume”, “se escapa un gas”, “el polvo que queda es más ligero que el metal”, “el óxido come los clavos”, etc. Interpretaciones de este último tipo se han encontrado también en estudios realizados con alumnos de 3º de BUP, COU y 1º de Ciencias Biológicas (Bueso, Furio y Mans, 1988). Para estos alumnos la sustancia sigue siendo la misma, aunque pierde peso, bien porque tiene una textura más ligera (polvo), bien porque algo la hace desaparecer (el óxido).

Vemos que existe un paralelismo entre las argumentaciones dadas para la combustión y las dadas para la oxidación (Tabla 6.5). En ambos casos la interpretación más extendida es la de que la masa disminuye y la que se da en menor proporción es la de que la masa aumenta.

TABLA 6.5

**Ideas sobre conservación de la masa en las reacciones químicas.
La idea más extendida es que en la combustión
y la oxidación se pierde masa.**

	Combustión	Oxidación
La masa sigue igual	La sustancia es la misma, sólo cambia de aspecto.	La sustancia es la misma, sólo cambia de aspecto
La masa aumenta	Se adiciona hollín al metal. Se adiciona óxido al clavo. El metal se convierte en carbón (más pesado).
La masa disminuye	Con el humo se escapa algo. Las cenizas son polvo y el polvo es más ligero que la madera	Se consume, se escapa un gas. El óxido se come al metal. El óxido es un polvo y el polvo es más ligero que el metal

Cuando, a alumnos de 15 años de edad, se les pidió que hicieran una estimación de la masa de los gases producidos por un coche en relación con la masa de gasolina utilizada (Donnelly y Welford, 1988; véase en el Apéndice la tarea nº 51), se encontró que más de la mitad sugirió que la masa de los gases sería igual que la de la gasolina, mientras que aproximadamente la cuarta parte indicó que sería menor. Solamente un 3% indicó que aumentaría la masa. En un problema similar (Andersson, 1986) encuentra, entre aquellos que dicen que la masa de los gases es menor que la de la gasolina, explicaciones en las que los alumnos consideran que el combustible desaparece, tan sólo una parte se convierte en gases. Algunos pocos expresan que el combustible se ha convertido en calor y energía cinética y por eso los gases no pesan casi nada. Todo ello parece indicar que tampoco en este caso se interpreta la situación en términos de combinación química.

En estos dos ejemplos se les presenta a los alumnos un sistema abierto en el que el oxígeno del aire se combina con una determinada sustancia para obtener otra. En ambos casos no reconocen que el oxígeno del aire se combine químicamente con la sustancia, ni siquiera cuando predicen un aumento de masa en la reacción. Como ya se explicó anteriormente, reconocen la necesidad del aire o del oxígeno pero no el papel que juegan. Donnelly y Welford (1988) argumentan una idea que podría resultar útil a la hora de explicar esta concepción del papel que juega el oxígeno: el aire, y por extensión el oxígeno, es visto por los alumnos como "un fluido imponderable" y como "un recurso infinito". Cuando tiene lugar una reacción en un sistema abierto aparentemente no varía la cantidad de aire, saben que es necesario pero no observan cambios cuantitativos en él.

Cuando la combustión tiene lugar en un sistema cerrado aparecen pautas semejantes en predicciones de los alumnos. Un estudio efectuado con estudiantes de 11 a 12 años (Driver, 1985), plantea una pregunta en la que se les muestra un dibujo de un astronauta encerrado en su vehículo espacial fumando un cigarrillo antes del despegue (véase un ejemplo muy similar en la tarea nº 17 del Apéndice). Se preguntaba a los alumnos si la nave pesaría más, menos o igual que antes de fumar. Sólo un reducido número de alumnos (alrededor de un 10%) predijo que la nave pesaría igual. La mayoría explicó que pesaría más a causa del humo y del peso añadido de los productos de la combustión. Las explicaciones utilizadas entre los que pensaban que pesaría menos hacían hincapie en que el humo y la ceniza eran más ligeros que el cigarrillo, o indicaban que el humo carecía de peso.

Hemos visto, en todos los casos, que las respuestas sobre conservación están influidas por la visión que los alumnos tienen de la reacción química, principalmente la idea de que la sustancia permanece aunque cambien sus propiedades o su aspecto. En la mayoría de los casos se mantiene la tendencia a fijarse en aquellos aspectos del proceso que pueden percibir fácilmente, tales como la producción de humo o la apariencia porosa del óxido. Sus interpretaciones se ven influidas por las ideas sobre otros conceptos previos, ideas sobre el peso de los gases, ideas sobre la masa de los sólidos y la relación con su aspecto, etc.

6.4.3 Esquemas interpretativos de una reacción química

Se han hecho varios intentos de sintetizar los esquemas con los que los alumnos interpretan las reacciones químicas. En este estudio vamos a seleccionar los tres más importantes, las interpretaciones de Driver(1985), la clasificación realizada por Meheut, Saltiel y Tiberghien (1985) y la clasificación de Andersson (1986).

Según Driver (1985), la interpretación que los niños hacen de las reacciones químicas aparece dominada por la percepción, por aquello que pueden observar en las distintas transformaciones, así, llegan a considerar que la materia va y viene y puede desaparecer. Se centran en aspectos limitados de la tarea como, por ejemplo, las observaciones que hacen del fuego y de las tablas cuando arden. Sus explicaciones no tienen en cuenta la interacción entre compuestos, se basan en transformaciones separadas de cada una de las sustancias que intervienen. Considera que, en las interpretaciones que hacen los niños sobre la combustión y la oxidación, aparecen unas "ideas prototípicas" que influyen claramente sobre su pensamiento y cuyas características generales serían:

1. La combustión implica que las cosas se pongan al rojo y aparezcan llamas.
2. El oxígeno o el aire son necesarios en el proceso, aunque su función no aparece clara. Puede considerarse que se consume en el proceso.
3. Las sustancias cuando arden pierden peso.
4. En una combustión se produce humo y parte del material se pierde de esta forma.
5. Las cenizas son los residuos incombustibles de las sustancias. Tienen forma de polvo y se deshacen con facilidad.

Estas "ideas prototípicas" se encontrarían detrás de las interpretaciones que los alumnos hacen de las reacciones y de sus ideas sobre conservación de la masa. Se manifestarían claramente en sus explicaciones antes de recibir instrucción, volviendo a aparecer en las interpretaciones que hacen de estos fenómenos después de la enseñanza que reciben en la escuela.

Para Driver, la asimilación de lo que sucede durante una reacción química exige la comprensión de la atomicidad de la materia y de su indestructibilidad, exige por tanto la comprensión de los conceptos de discontinuidad y conservación de la materia. Sugiere que, como decía Piaget, la construcción del concepto de que la materia está formada por partículas es fundamental en el desarrollo de las ideas de conservación de la materia. Sin embargo, aunque necesario, este concepto no resultaría suficiente. Así, según vimos en el Capítulo 4, se encuentra un numeroso grupo de alumnos que, aunque maneja el concepto de partícula, tiende a atribuirles las mismas propiedades macroscópicas que posee la sustancia de la cual forman parte.

Meheut, Saltiel y Tiberghien (1985) observan también que las explicaciones de los alumnos no tienen en cuenta las interacciones entre sustancias, sino transformaciones separadas de cada una de las sustancias que componen el objeto. Objeto que estaría formado por varias sustancias yuxtapuestas que, como resultado de la combustión, pueden separarse para sufrir transformaciones independientes. Lo que explicaría el que no se mencionen ni el oxígeno ni el aire en las interpretaciones sobre la combustión y la oxidación, o bien que, cuando se menciona, se hable de una transformación del aire independiente de la de los combustibles. Consideran que, cuando se introducen los modelos de partículas, su aplicación conduce a los modelos explicativos utilizados anteriormente. Por ello, incluso cuando los utilizan en su interpretación, siguen sin tener en cuenta las partículas de oxígeno.

Estos autores clasifican las interpretaciones de los alumnos en dos categorías:

a) Transformaciones que contienen nociones de la naturaleza permanente de las sustancias.

Los alumnos interpretan que la sustancia permanece y conserva ciertas propiedades (color, olor, etc). Utilizan el mismo nombre para designar a la sustancia inicial y a la sustancia final. A veces, mantienen la reversibilidad de la transformación y la interpre-

tan como si fuera un cambio de estado, los sólidos “funden” (por ej., la cera de una vela al arder) y los líquidos se evaporan (por ej., la combustión del alcohol). La presencia de agua entre los productos se relaciona con su existencia previa entre el material combustible.

- b) **Transformaciones que no contienen nociones de la naturaleza permanente de las sustancias.** En esta categoría no se menciona la conservación de ninguna propiedad y se utilizan nombres diferentes para la sustancia inicial y la final. Señalan la desaparición de la sustancia inicial, así como el cambio en sus propiedades (“... la madera desaparece... se forman cenizas...”). A menudo, utilizan el verbo “quemar”. Explican el que una vela se apague en un recipiente cerrado por un cambio en las propiedades del aire (“... se cambia a humo, gas, etc.”). Explican la aparición de agua refiriéndose a la presencia de vapor o a una condensación de origen desconocido.

Andersson (1986), basándose en los resultados de los distintos estudios realizados sobre la interpretación del cambio químico, ha desarrollado un esquema general de la comprensión de las reacciones químicas. Basa su esquema en cinco categorías:

- i) *Es sólo así (así suceden las cosas).*

Los niños no se plantean si tiene lugar una reacción química al oxidarse unos clavos de hierro o al arder una tabla. Cuando se les pregunta por qué se oxidan las cañerías de cobre de una casa responden: “de esa forma cambian todas las cañerías de cobre”, “se ha formado moho”.

- ii) *Desplazamiento.*

Pueden aparecer sustancias nuevas en un sitio simplemente porque han “venido” de otro (por ej., la cañería se oxida porque “alguna sustancia la ha atravesado”).

Dan explicaciones sobre la oxidación de los clavos del tipo: “... está en el aire todo el tiempo... y cuando hay un clavo húmedo se extiende sobre su superficie” (desplazamiento del óxido desde el exterior al clavo) o “el agua ha sacado algo de sustancia desde el interior del clavo” (desplazamiento del óxido desde el interior del clavo hasta el exterior).

En esta categoría se incluirían las respuestas, descritas anteriormente, en las que los alumnos explican que la formación de agua en la combustión es debida a su presencia anterior en el material combustible.

Esta categoría es utilizada incluso cuando se utilizan conceptos del mundo atómico (la molécula), así explican: "las moléculas de metal del aire se han pegado en las cañerías y han formado una capa".

iii) *Modificación.*

Lo que parece ser una sustancia nueva es en realidad la misma sustancia de antes, aunque de una forma distinta. Ha cambiado alguna de sus propiedades.

En los procesos de combustión indican que los gases obtenidos quemar el alcohol son vapor de alcohol. En la combustión de la madera dicen que la ceniza obtenida es la misma tabla cambiada de forma.

iv) *Transmutación.*

Consideran que la materia original se transforma en otra totalmente nueva.

Cuando explican la oxidación del estropajo de acero al quemarse con una llama dicen: "la lana de acero se ha quemado se ha convertido en carbón" o "una sustancia de la lana de acero se ha transformado...".

A veces explican que una sustancia dada se transmuta parcialmente en energía. Cuando se les plantea el problema de la combustión de la gasolina en un automóvil, dan respuestas sobre los gases expulsados en las que explican que no pesan prácticamente nada "porque se convierten en energía".

En el caso de la combustión del alcohol, en algunos casos, explican que "... la llama caliente, el calor sale como vapor y después se convierte en agua".

v) *Interacción química.*

En esta categoría se encontrarían aquellas respuestas en las que se considera que las sustancias están compuestas por átomos de distintos elementos, de forma que las nuevas sustancias se forman por recombinación de los átomos de las sustancias originales ("el hierro se ha combinado con el oxígeno del aire").

Hemos visto los tres principales intentos de estructurar los esquemas que utilizan nuestros alumnos para interpretar las reacciones químicas. Por un lado, Driver fija una serie de ideas (“ideas prototípicas”) a las que recurren los estudiantes, antes y después de la enseñanza, para explicar los cambios químicos observados en los procesos de combustión y de oxidación. Por otro lado, Meheut *et al.* y Andersson hacen una clasificación de esas ideas en base a una serie de categorías. Entre estas dos clasificaciones existe una correspondencia (veasé la Tabla 6.6), la primera categoría de Meheut se corresponde a la denominada “modificación” por Andersson y la segunda se corresponde con la “transmutación” (Andersson, 1986).

TABLA 6.6

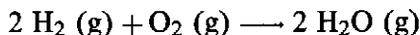
Categorías utilizadas por Meheut et al. (1985) y Andersson (1986) para clasificar las ideas sobre reacciones químicas.

Meheut	Andersson
La sustancia permanece	Es así
La sustancia cambia	Desplazamiento
	Modificación
	Transmutación
	Interacción química

Tal como hemos descrito, prácticamente todas las investigaciones se han realizado sobre procesos de combustión y de oxidación. Podemos preguntarnos entonces, ¿qué ocurrirá cuando a los estudiantes se les planteen otra serie de transformaciones diferentes, darán explicaciones coherentes con las que hemos descrito?. Esta es una línea de trabajo que debería seguirse, en la que, probablemente, las cinco categorías de Andersson resulten un buen instrumento para intentar aclarar y explicar las concepciones de nuestros alumnos sobre las reacciones químicas.

6.4.4 Relaciones cuantitativas en las reacciones químicas

La comprensión correcta de una reacción química incluye no sólo su comprensión teórica, sino también el dominio de otros aspectos. Así, según Ben-Zvi, Eylon y Siberstein (1987), la interpretación correcta de una reacción tan simple como



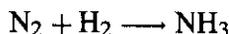
implicaría dominar lo siguiente:

- a) Los aspectos estructurales de una reacción química.
 - Estructura de la molécula de un elemento.
 - Estructura de la molécula de un compuesto.
 - La naturaleza del estado gaseoso.
- b) Los aspectos interactivos de una reacción química.
- c) Los aspectos dinámicos de la reacción.
- d) Los aspectos cuantitativos de la reacción

Los aspectos estructurales e interactivos han sido tratados en el apartado anterior, mientras que el tercero, los aspectos dinámicos serán tratados, en parte, en el apartado dedicado al equilibrio químico. Los últimos, los aspectos cuantitativos de las reacciones químicas, se centran en las técnicas de ajuste y los cálculos estequiométricos y se van a desarrollar a continuación.

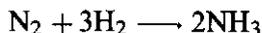
Ajuste de las reacciones químicas

Como ya hemos comentado, en toda reacción química se cumple la llamada Ley de Conservación de la Masa, también conocida por Ley de Lavoisier. A partir del desarrollo de la teoría atómico molecular esta Ley puede enunciarse como: el número de átomos de cada elemento se conserva a lo largo de la reacción. De forma que cuando se escribe la reacción



sabemos que al final habrá tantos átomos de nitrógeno (combinados en el amoníaco, NH_3) como hubiera al principio (en forma de molécula de nitrógeno, N_2).

Cuando se escribe una reacción, por ejemplo la que acabamos de describir, antes de realizar ningún cálculo con ella debemos proceder a ajustar los coeficientes de cada molécula, es decir indicar cuántas moléculas de cada clase participan, de forma que se cumpla la Ley de Conservación de la Masa. El ejemplo anterior quedaría



Los métodos empleados habitualmente para el ajuste de reacciones químicas son:

- Por tanteo.
- Formando un sistema de ecuaciones.
- Método del ión-electrón.
- Método del número de oxidación.

Los dos últimos se utilizan nada más que en el caso de que se trate de una reacción de oxidación reducción. En cuanto a los dos primeros, los más generales, hay que tener en cuenta que el usado más habitualmente es el método de tanteo.

La comprensión del proceso y del significado del ajuste de ecuaciones químicas, logicamente, requiere que nuestros alumnos comprendan previamente gran cantidad de conceptos básicos de la química, principalmente aquellos que se refieren a la reacción química. Con estos conceptos Savoy (1988) ha construido un mapa conceptual relacionándolos entre sí de forma jerárquica (véase la Figura 6.2).

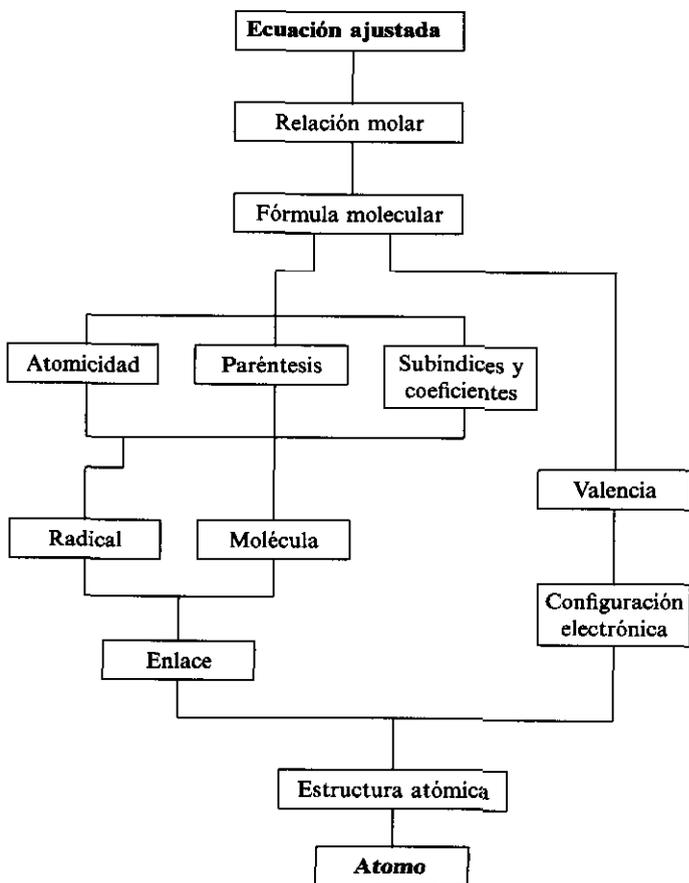
El ajuste de reacciones está conectado directamente con dos de los tres grandes problemas cognitivos del estudio de la química (descritos en el Capítulo 3), la discontinuidad y la conservación de la materia. La comprensión y el desarrollo del proceso exige conocer y entender, en primer lugar, que la materia está formada por átomos que se combinan entre sí y que, de estas combinaciones, se obtienen nuevos compuestos. En segundo lugar, es necesario comprender correctamente la Ley de Conservación de la Masa en su forma atómica.

Sin embargo, en muchas ocasiones, los cuatro métodos de ajuste citados se limitan a ser una técnica algorítmica. Así, se observa que los estudiantes son capaces de ajustar ecuaciones correctamente sin entender el significado de las fórmulas en términos de las partículas que los símbolos representan (Gabel, Samuel y Hunn, 1987). Se limitan a

una eficaz manipulación matemática, dándose casos de alumnos que no son capaces de ajustar una reacción de descomposición sin previamente reescribirla como una reacción de síntesis, ajustarla y posteriormente volver a invertirla (Yarroch, 1985).

FIGURA 6.2

Jerarquía de conceptos necesarios para el ajuste de reacciones químicas (Savoy, 1988)



Se ha encontrado que algunas de las dificultades que encuentran los alumnos son debidas a una interpretación incorrecta del lenguaje químico. Así, no distinguen entre los subíndices de las fórmulas y los coeficientes de las moléculas que participan en la reacción. Para ellos, los coeficientes y los subíndices proporcionan la misma información, la función de los coeficientes sólo es multiplicar para igualar la ecuación (Schmidt, 1984; Yaroch, 1985).

Otras dificultades son debidas a la naturaleza de la reacción que tienen que ajustar, por ejemplo, encuentran más difícil escribir ecuaciones iónicas que ecuaciones en las que los compuestos se encuentran en forma molecular (Hankinson *et al.*, 1977). Así mismo, se ha observado que, cuando se utiliza el método de tanteo, influye el número de etapas necesarias para el ajuste. A mayor número de etapas mayor dificultad para los estudiantes. Esto se ha tratado de explicar (Niaz y Lawson, 1985) teniendo en cuenta la capacidad mental (ver Capítulo 7) necesaria para la resolución del problema. Así, el ajuste de las ecuaciones más complejas, frente a las más simples, supone un aumento de la exigencia de capacidad mental. Se ha encontrado una correlación significativa entre ésta y la habilidad para ajustar las ecuaciones más complejas, sin embargo, no existe tal correlación en el ajuste de las más simples (Niaz y Lawson, 1985).

Varios autores han estudiado la relación que existe entre el nivel cognitivo de los estudiantes y la habilidad en el ajuste de reacciones químicas (véanse, la descripción que hacemos del pensamiento formal en el Capítulo 1 y el estudio de las variables relacionadas con el rendimiento en química del capítulo 7). Según Shayer y Adey (1981) los alumnos que han alcanzado el nivel piagetiano IIIA (formal inicial) son capaces de entender la conservación de los elementos químicos en una reacción. A su vez, si se han ejercitado mucho hasta aprender las reglas del juego, pueden hacer ecuaciones químicas y comprender su relación con las reacciones. Otros autores han estudiado la exigencia cognitiva de cada método de ajuste, proponiendo lo siguiente:

- Método del número de oxidación. Según Herron (1975), requiere la utilización del pensamiento concreto.
- Método del ión-electrón. Según Herron (1975), requiere la utilización del pensamiento formal.
- Método de tanteo. Requiere la utilización del pensamiento formal (Herron, 1975; Karplus, 1977; Niaz y Lawson, 1985). Niaz

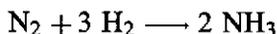
y Lawson han encontrado una correlación significativa entre la habilidad para el ajuste y el nivel cognitivo. Creen que esto es debido a que el ajuste, utilizando el método de tanteo, exige un análisis de combinaciones y posibilidades, utilizando un modelo hipotético deductivo de la forma

si..... entonces..... por lo tanto

A pesar de esto, algunos estudiantes con razonamiento concreto son capaces de ajustar correctamente algunas de las ecuaciones (Niaz y Lawson, 1985).

Cálculos estequiométricos

El término estequiometría fue introducido por Richter en 1792, entendiéndolo como medida de algo que no puede dividirse. Hoy en día, según el "Vocabulario Científico y Técnico" de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1990) se entiende por estequiometría la *relación numérica entre las masas de los elementos que forman una sustancia y las proporciones en que se combinan los elementos o compuestos en una reacción química*. Las relaciones estequiométricas dentro de una reacción química vienen dadas por sus coeficientes. Así, cuando se nos presenta una reacción química ajustada, por ejemplo



sus coeficientes nos indican que:

1 molécula de N_2 reacciona con 3 moléculas de H_2 para producir 2 moléculas de NH_3 ; análogamente, nos encontramos que, para los moles, se cumplirá la misma relación proporcional. Así, los coeficientes de la reacción nos indicarán también que:

1 mol de N_2 reacciona con 3 moles de H_2 para producir 2 moles de NH_3 .

Esta relación proporcional será la que nos permita realizar, en cada reacción, los correspondientes cálculos de masa y volumen.

Para la resolución de los problemas de estequiometría existen varias estrategias que Packer (1988) clasifica en 4 tipos:

1. Método de Frazer y Simpson. En este método el alumno, en primer lugar, ajusta la reacción para, una vez calculados los moles de los reactivos conocidos, establecer la proporción que nos permita calcular los moles del reactivo desconocido. A continuación se calcula la magnitud pedida (masa o volumen de la sustancia desconocida).

Ecuación ajustada—moles de react. conocidos—

—moles de react. desconocidos—magnitud pedida.

2. Cálculos estableciendo proporciones entre la masa o volumen del reactivo conocido con la masa o volumen del reactivo desconocido.
3. Cuando las reacciones se dan en disolución, se establece la relación proporcional

$$\frac{V(A) \cdot M(A)}{a} = \frac{V(B) \cdot M(B)}{b}$$

donde V(A) y V(B) son los volúmenes de las sustancias A y B

M(A) y M(B) son las molaridades de A y B

a y b son los coeficientes de A y B en la reacción.

Este método es análogo al utilizado clásicamente para resolver los problemas de reacciones de neutralización en el que se establecía la relación $V \cdot N = V' \cdot N'$.

4. Método proporcional (Propuesto por Packer)

En la reacción $aA + bB \rightarrow cC + dD$ establece la proporción entre los moles de cada sustancia y los coeficientes que tienen en la reacción.

$$\frac{n(A)}{a} = \frac{n(B)}{b} = \frac{n(C)}{c} = \frac{n(D)}{d}$$

Dificultades en los cálculos estequiométricos

Cuando se analizan los trabajos publicados sobre este tema, se observa que las dificultades que encuentran los alumnos en la resolución de problemas de estequiometría podrían clasificarse en tres tipos: las dificultades relacionadas con los conceptos previos que tienen que manejar para resolver el problema, las dificultades debidas a los problemas de conservación y las debidas al cálculo proporcional. Como se ve, si tenemos en cuenta que en el primer tipo están incluidas aquellas dificultades debidas a la naturaleza discontinua de la materia, esta clasificación recoge los tres grandes núcleos conceptuales que describíamos en el Capítulo 3.

a) Dificultades conceptuales

La realización de cálculos con una reacción química exige que los alumnos comprendan y manejen con soltura todos aquellos conceptos de la química que se consideran situados en niveles jerárquicos inferiores (véase la Figura 6.3). Sin embargo, cuando los estudiantes se enfrentan con este tipo de problemas tienen que manejar conceptos con los que no están suficientemente familiarizados y que desvían la atención del problema con el que trabajan (Steiner, 1986 y Poole, 1989). En primer lugar, según estos autores, se encuentran con la "horrenda" palabra estequiometría. A continuación, tienen que utilizar conceptos que ya por si solos crean grandes conflictos, por ejemplo, el mol (véase el apartado referente a este concepto en el capítulo 4), un concepto que, debido a las dificultades de comprensión que presenta, ha sido citado repetidamente como una de las causas de los problemas que encuentran los estudiantes en los cálculos estequiométricos (Cervellati *et al.*, 1982; Steiner, 1986; Frazer y Servant, 1987; Packer, 1988 y Poole, 1989). Sin olvidar que, en algunos casos, otra de las causas de errores citadas en este tipo de problemas es la dificultad en el ajuste de las reacciones químicas (Duncan y Johnstone, 1973; Gower, Daniels y Lloyd, 1977).

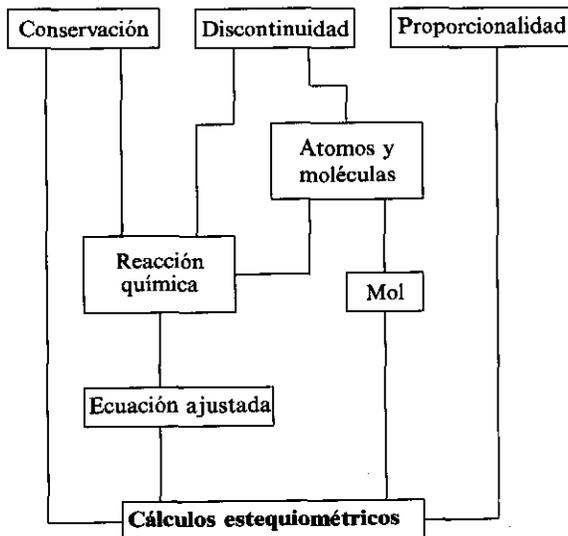
En los ejercicios de estequiometría los estudiantes tienen que trabajar en bastantes ocasiones con gases y con disoluciones, por ello, a los problemas propios de los cálculos en las reacciones, habrá que añadir las dificultades de comprensión y de cálculo de estas áreas de la química (citadas anteriormente). Y no sólo eso, sino que además, como ya se dijo, en estos casos aparecen términos que pueden usarse en distintas

acepciones. Por ejemplo, el término molar puede ser utilizado en el sentido de concentración de una disolución o en el sentido de unidades por cada mol, es el caso del volumen molar de un gas o de la masa molar (Packer, 1988).

Lógicamente, al igual que lo es para los conceptos más básicos de la química, la comprensión de la naturaleza discontinua de la materia también será un punto fundamental a la hora de comprender la estequiometría. En relación a la necesidad de que los estudiantes hayan adquirido la noción de partícula para la realización de cálculos dentro de las reacciones químicas, algunos autores (Gabel, Samuel y Hunn, 1987), señalan la importancia que la habilidad de los estudiantes para representar la materia a nivel discontinuo tiene a la hora de trabajar con relaciones de estequiometría.

FIGURA 6.3

Conceptos necesarios para la realización de cálculos estequiométricos



b) Dificultades con la conservación

Como ya hemos visto, la conservación de la materia era un punto importante en las dificultades de los alumnos a la hora de interpretar las reacciones químicas. Lógicamente, también lo será a la hora de realizar los cálculos estequiométricos. Estas dificultades tienen que ver con diferentes aspectos: conservación de las partículas, conservación de la cantidad de sustancia, conservación del volumen, conservación de la masa, etc.

Se ha encontrado que, en un test en el que se proponen cambios químicos, la conservación de las partículas es ignorada por gran número de alumnos (futuros profesores de primaria). Claro que, como señalan los autores del estudio, en este no se puede saber si ello es debido a descuido, o a que los estudiantes no se dieron cuenta de que las partículas se conservan (Gabel, Samuel y Hunn, 1987). Así mismo, se han encontrado también varios casos en los que la conservación es interpretada como conservación de los símbolos (K, Na, etc.) y no como conservación de partículas elementales (Yarroch, 1985).

Los alumnos, probablemente influidos por la enseñanza basada en la conservación de los átomos de cada elemento, utilizan falsas leyes de conservación al realizar los cálculos estequiométricos. Se observó en algunos casos que llegan a utilizar la conservación de los moles o la conservación del volumen dentro de las transformaciones químicas (Schmidt, 1984).

Con respecto a la conservación de la masa debemos hacer referencia a lo ya expuesto en este mismo capítulo (apartado 6.4.2). Las mayores dificultades se dan en las reacciones en las que se producen gases, muchos sujetos creen que la masa disminuye, aunque también se han encontrado algunos casos de estudiantes que piensan que aumenta (Driver, 1985). En general, como ya explicamos, se ha encontrado que, en los cambios químicos para muchos alumnos no se conserva la masa (Llorens y Llopis, 1985).

c) Dificultades debidas al cálculo proporcional

Una de las causas de las dificultades con los cálculos estequiométricos en las reacciones químicas es la necesidad de utilizar el cálculo proporcional en la resolución de problemas, y principalmente, el número de proporciones diferentes que aparecen en cada problema (Gailiunas, 1987).

Se ha observado que, frecuentemente, algunos alumnos utilizan estequiometría 1:1 en sus cálculos independientemente de la reacción que tiene lugar (Frazer y Servant, 1987), especialmente cuando no pueden escribir ecuaciones ajustadas y fórmulas correctas (Anamuah-Mensah, 1986). Asimismo, se ha observado que no diferencian entre relación molar y relación de masas (Schmidt, 1984) o entre relación molar y relación de volúmenes (Anamuah-Mensah, 1986). Además, en ocasiones, son incapaces de relacionar las proporciones de moles con las fórmulas químicas (Anamuah-Mensah, 1986). Probablemente este tipo de errores, en bastantes ocasiones, tengan relación con las estrategias utilizadas por los estudiantes a la hora de realizar cálculos proporcionales (estas estrategias fueron descritas en el Capítulo 3).

Hasta aquí, hemos descrito las dificultades que se observan en los cálculos con reacciones químicas y sus posibles causas. Sin embargo, no debemos olvidar que una fuente de errores en el trabajo estequiométrico es la dificultad del cálculo matemático y los errores aritméticos por descuido en los cálculos. Así mismo, hay que tener en cuenta que los cálculos estequiométricos se enseñan, en muchas ocasiones, por medio de algoritmos simplificadores que no permiten que el alumno llegue a comprender que hay detrás de ellos (Steiner, 1986 y Poole, 1989).

Conocidos los errores más frecuentes en los cálculos estequiométricos, diversos autores han desarrollado en los últimos años diferentes estrategias de enseñanza tratando de facilitar al alumno su aprendizaje. Por ejemplo, se ha propuesto el uso de algoritmos que simplifiquen los cálculos (Kean, 1988), el uso de diagramas (Cameron, 1985 y Poole, 1989) y se ha llegado incluso a diseñar un método para iniciar en la estequiometría a niños de siete años (Steiner, 1986). En otros casos, se ha propuesto que la estequiometría se enseñe tomando como base el cálculo proporcional (Gailunas, 1987).

6.5 EQUILIBRIO QUIMICO

6.5.1 Introducción

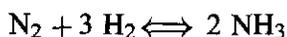
La profundización en el estudio de las reacciones químicas requiere fijarse no solo en los estados inicial y final, como hemos hecho hasta ahora, sino también en los estados intermedios y su evolución.

Desde el punto de vista cinético, debemos tener en cuenta que no todas las reacciones químicas transcurren con la misma velocidad.

Hay reacciones muy rápidas como, por ejemplo, la combustión del gas butano y la reacción del hidrógeno con el oxígeno cuando se hace saltar una chispa. Existen reacciones con velocidad moderada, por ejemplo, la oxidación de un clavo sumergido en agua o la reacción de algunos metales con los ácidos. Por último, existen reacciones lentas, por ejemplo, la oxidación de un clavo al aire en un ambiente seco; algunas son tan lentas que prácticamente no ocurren nunca. Experimentalmente se comprueba que uno de los factores que afecta a la velocidad de reacción es la concentración de los reactivos, de forma que, si la concentración aumenta, aumenta la velocidad de la reacción y viceversa. Por eso, en el transcurso de una reacción, según van desapareciendo los reactivos, la velocidad se va haciendo más pequeña.

En Química se distingue entre dos tipos de reacciones: las reversibles y las irreversibles. Cuando se calienta carbonato de calcio en un recipiente cerrado se produce óxido de calcio y dióxido de carbono, si posteriormente dejamos enfriar el recipiente observaremos que vuelve a formarse nuevamente el carbonato de calcio. En este proceso ha tenido lugar una reacción química, pero al cambiar las condiciones se ha vuelto al estado inicial, se trata de una reacción reversible. Por el contrario, si quemamos una cierta cantidad de butano o tostamos pan en la cocina, sabemos que no se puede recuperar el estado inicial, se trata de una reacción irreversible.

Las reacciones reversibles se representan mediante una doble flecha, por ejemplo,



Esta indica que, al igual que el hidrógeno puede reaccionar con el nitrógeno para formar amoníaco (reacción directa), el amoníaco puede descomponerse en hidrógeno y nitrógeno (reacción inversa).

Si en un recipiente introducimos una cierta cantidad de nitrógeno e hidrógeno (ejemplo anterior), empezaran a reaccionar para producir amoníaco. A medida que transcurre la reacción química las cantidades de reactivos van disminuyendo, su concentración se va haciendo más pequeña y, por tanto, disminuirá la velocidad de la reacción directa. Por otra parte, a la vez que ocurre esto, el amoníaco que se va formando podrá empezar a descomponerse y la velocidad de este proceso, reacción inversa, se irá haciendo cada vez mayor. Llega un momento en que ambas velocidades se igualan, en este instante se está formando la misma cantidad de amoníaco que la que se está consumiendo, por tanto

no varían las cantidades de las sustancias presentes. Se ha alcanzado el Equilibrio Químico. El equilibrio químico se alcanza indistintamente tanto si se inicia la reacción a partir de las sustancias del primer miembro (reactivos), como si se inicia a partir de las sustancias del segundo miembro (productos).

Las concentraciones de cada una de de las sustancias que intervienen, reactivos y productos, permanecen constantes al alcanzarse el equilibrio, no varían con el tiempo. Sin embargo, se comprueba experimentalmente que continuamente se están transformando las moléculas de los reactivos en productos y viceversa. Ambos procesos tienen lugar con la misma velocidad y por eso no varían las cantidades de sustancias presentes. Se dice que el equilibrio es dinámico.

En un sistema en equilibrio químico se comprueba que, cuando se realiza algún cambio sobre él, evoluciona en el sentido en que tiende a anular la modificación realizada. Esto supone una importante Ley de la química que se conoce como Principio de Le Chatelier.

Desde el punto de vista cuantitativo, se comprueba que, en el equilibrio químico, existe siempre una relación constante entre las concentraciones de las sustancias que forman el sistema. Así, dada la reacción



se cumple que

$$\frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

donde K_c es la llamada constante de equilibrio y $[A]$, $[B]$, $[C]$ y $[D]$ representan las concentraciones molares (moles/litro) de las sustancias A, B, C y D respectivamente. Esta expresión recibe el nombre de Ley de Acción de Masas y permite conocer las cantidades de las sustancias presentes en el momento del equilibrio.

Evidentemente, el concepto de equilibrio químico requiere el conocimiento de un gran número de conceptos relacionados con él (vease la Figura 6.4). Esto hace que presente una gran dificultad para los estudiantes y que su estudio no se inicie hasta los últimos cursos de la Enseñanza Media (3º de BUP y COU), una vez estudiada la reacción química y sus aspectos cuantitativos. La naturaleza abstracta de este concepto hace que, según diversos autores (Johnstone, MacDonald y

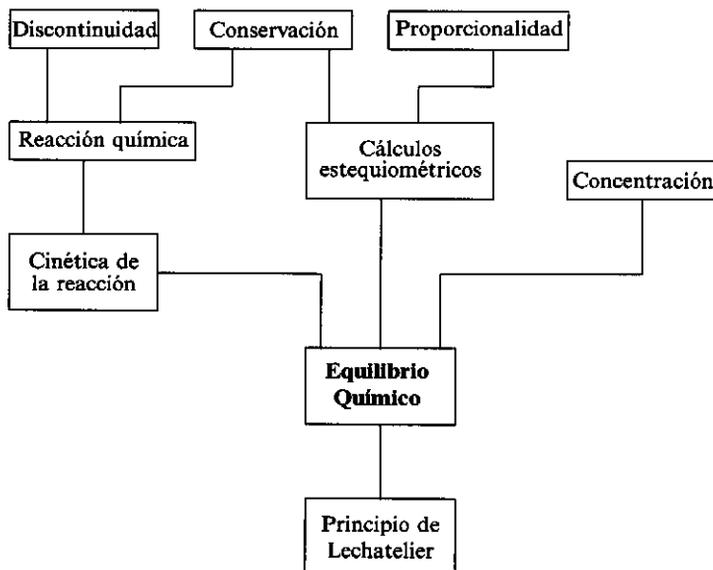
Webb, 1977; Wheeler y Kass, 1978 y Shayer y Adey, 1981), requiera la utilización del pensamiento formal para su comprensión (véanse los Capítulos 2 y 7).

6.5.2 Dificultades en el estudio del equilibrio químico

Normalmente, los alumnos no tienen ideas sobre el equilibrio químico al comenzar su estudio, sin embargo, se observa que, durante el desarrollo de este apartado de la química, aparecen una serie de errores conceptuales que se repiten frecuentemente y que son difíciles de eliminar. En bastantes casos no debemos considerar estos errores conceptuales como ideas espontáneas, sino que debemos considerarlos como ideas inducidas a través de la enseñanza (Jhonstone, MacDonald y Webb, 1977 y Hackling y Garnett, 1985).

FIGURA 6.4

Relación del concepto de equilibrio con otros conceptos químicos



Se han realizado diversos estudios sobre los errores conceptuales en el aprendizaje del equilibrio químico, la mayoría de ellos con alumnos de 17 y 18 años (mayores en algunos casos). Todos estos estudios conducen a considerar 8 tipos diferentes de ideas:

a) Interpretación de la doble flecha

Cuando un equilibrio aparece desplazado hacia uno de sus miembros se representa habitualmente dibujando una de las flechas más larga que la otra.

En este caso, a los alumnos les cuesta aceptar que la velocidad de reacción, al llegar al equilibrio, es la misma en ambos sentidos. En bastantes ocasiones interpretan que la longitud de la flecha indica la mayor o menor velocidad del proceso (Jhonstone, MacDonald y Webb, 1977; véase la tarea nº 52 del Apéndice). En el caso que hemos representado, indican que al llegar al equilibrio la velocidad de la reacción directa es mayor que la velocidad de la reacción inversa. Esto podría explicarse, según Hierrezuelo y Montero (1988), teniendo en cuenta que el significado de estos símbolos habitualmente no se explica expresamente en los libros de texto.

Errores en la interpretación de las velocidades de las reacciones directa e inversa

Como ya se comentó anteriormente, suponiendo que partimos de las sustancias del primer miembro, la velocidad de la reacción directa va disminuyendo, mientras que la velocidad de la reacción inversa va aumentando hasta que se igualan y se alcanza el equilibrio químico.

Se han observado diversos errores conceptuales en las ideas que los alumnos tienen sobre las velocidades de las reacciones directa e inversa. Así, se detecta una cierta tendencia a considerar que la velocidad de la reacción directa aumenta con el tiempo, desde que se mezclan los reactivos hasta que se establece el equilibrio (Hackling y Garnett, 1985). Los alumnos asocian la velocidad con la extensión de la reacción (Camacho y Good, 1989). Según Hackling y Garnett, esto podría explicarse teniendo en cuenta la experiencia previa de los alumnos con reacciones químicas en las que aparentemente la velocidad de reacción aumenta con el tiempo. Por ejemplo, cuando se hace reaccionar mag-

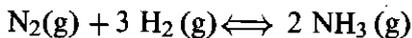
nesio con un ácido diluido, transcurren unos segundos antes de que se disuelva la capa de óxido de su superficie y empiece la formación rápida de hidrógeno; si lo que se hace es acercar una cinta de magnesio a una llama, transcurre un cierto tiempo hasta que se alcanza la temperatura de ignición y comienza la reacción violenta.

Cuando se trata de la reacción inversa, el error más típico es considerar que la velocidad de esta varía de igual forma que la de la reacción directa (Hackling y Garnett, 1985), si una aumenta también aumenta la otra y viceversa. Parece ser que consideran ambas reacciones como una sola, lo que, según los autores, puede ser debido al énfasis que se pone, cuando se realiza la introducción a la química, en reacciones que continúan hasta completarse.

Tal vez, esta última idea esté relacionada con la tendencia a considerar los cambios químicos como procesos irreversibles (citada al describir las ideas sobre cambio químico, véase el apartado 6.1). Esto haría que el alumno no comprendiera la existencia de dos reacciones independientes y considerara un solo proceso. Además hay que tener en cuenta que la mayoría de los procesos que se utilizan para explicar los equilibrios, representándolos con una doble flecha, se han utilizado previamente en la enseñanza de las reacciones químicas, los alumnos los han visto representados con una sola flecha y los han manejado como irreversibles en bastantes ocasiones.

Compartimentación del equilibrio

Se ha observado que cuando se presenta un equilibrio del tipo



los alumnos tienen dificultades para considerar que todas las sustancias que intervienen en él forman parte de un sistema único, es decir, que todos los compuestos se encuentran mezclados dentro del recipiente en el que tiene lugar la reacción. Se observa una cierta tendencia a considerar los dos miembros del equilibrio como compartimentos separados (Jhonstone, MacDonald y Webb, 1977; Furió y Ortiz, 1983 y Gorodetsky y Gussarsky, 1986; véase en el Apéndice la tarea nº 53), así habría un compartimento para las sustancias del primer miembro (nitrógeno e hidrógeno) y otro compartimento para las del segundo miembro (amoníaco) (Figura 6.5).

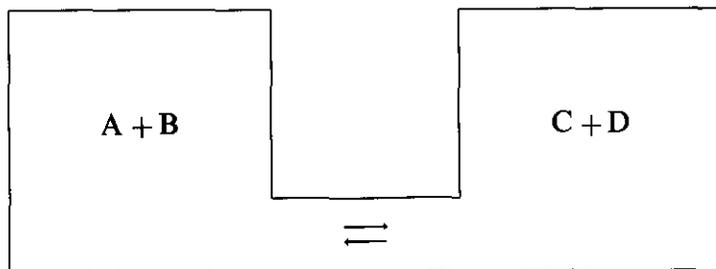
Se han citado varias causas para explicar esta interpretación del equilibrio por parte de los alumnos (Jhonstone, MacDonald y Webb, 1977). En primer lugar, la consideración de que el equilibrio tiene lugar en compartimentos separados parece indicar una concepción estática del equilibrio. Los alumnos comienzan el estudio de la química con una concepción del equilibrio que proviene de sus experiencias con la física y la mecánica. Una concepción estática, opuesta a la concepción dinámica del equilibrio químico, que conduce a considerar dos compartimentos separados. Además, a menudo, se emplean analogías físicas para explicar el equilibrio químico. Johnstone et al. citan, entre otras, las siguientes analogías que se han empleado en la enseñanza y que pueden contribuir a crear esa idea estática del equilibrio:

- Agua que se transfiere entre dos contenedores.
- Ratones que van y vienen entre dos contenedores.
- Una balanza mecánica.

Esto implica una concepción de la reversibilidad como movimiento físico (va y viene) y un concepto de que el equilibrio se alcanza cuando todo es igual (Maskill y Cachapuz, 1989).

FIGURA 6.5

Recipiente para las reacciones reversibles según se lo imaginan los alumnos (Hierrezuelo) y Montero, 1988). El dibujo es un modelo que representa la idea de compartimentación en los equilibrios. Los alumnos consideran que en la reacción reversible $A+B \rightleftharpoons C+D$ los reactivos están situados en un recipiente y los productos en el otro.

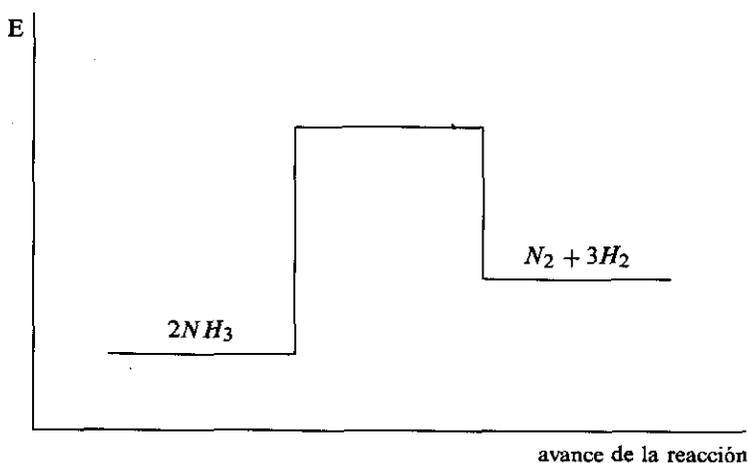


También se ha achacado esta compartimentación del equilibrio a la forma en que se suelen representar. Así, la doble flecha separando los dos miembros de la ecuación, podría inducir el que los alumnos interpreten el equilibrio como dos sistemas separados que evolucionan de uno a otro, en vez del sistema único que forman en la realidad. Por otra parte cuando a los alumnos se les explica, poco antes de iniciar el estudio del equilibrio, el mecanismo de una reacción y los factores energéticos que intervienen en ella, se realizan diagramas entálpicos en los que aparecen separadas las sustancias que forman los dos miembros de la ecuación (Véase la figura 6.6).

Podría influir también en esta interpretación el hecho de que, en algunos de los ejemplos de equilibrio químico que se utilizan en la enseñanza, se utilicen sistemas en los que aparecen dos fases diferenciadas, por ejemplo un sólido y un gas. Estas dos fases podrían, tal vez, inducir la idea de que existen dos compartimentos diferentes (Johnstone et al., 1977).

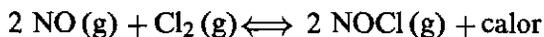
FIGURA 6.6

Diagrama entálpico de la reacción de descomposición del amoníaco



d) Confusiones debidas a la estequiometría

Un error muy frecuente entre los estudiantes es establecer una relación aritmética simple entre las concentraciones de los reactivos y las de los productos (Hackling y Garnett, 1985). Estos autores estudiaron las respuestas de los alumnos sobre el equilibrio



encontraron que un gran porcentaje de alumnos consideraba que, en el equilibrio químico, la concentración de NO era igual a la de NOCl. Este error debe atribuirse a que los alumnos se fijan en los coeficientes de la reacción, y, probablemente, también deba achacarse al considerable énfasis que se pone en la estequiometría cuando se introducen las reacciones químicas.

Por otra parte se ha detectado que un gran número de estudiantes tiene tendencia a considerar iguales las concentraciones de productos y reactivos al llegar al equilibrio (Hackling y Garnett, 1985). Este error, tal vez pueda ser debido a la tendencia, citada cuando hablamos de los cálculos estequiométricos (apartado 6.4.4), a considerar estequiometría 1:1 en las reacciones químicas.

e) Dificultades masa-concentración

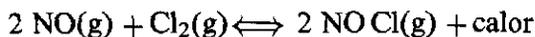
Los alumnos en ocasiones tienen dificultades para distinguir entre la cantidad de sustancia, ya sean masas o moles, y la concentración de esta (Wheeler y Kass, 1978 y Furió y Ortiz, 1983). Las dificultades para distinguir los conceptos de mol y de concentración molar fueron comentadas en los apartados en que tratamos sobre el concepto de mol (Capítulo 4) y sobre las relaciones cuantitativas en las disoluciones (apartado 6.3.2, en este mismo capítulo). Hierrezuelo y Montero (1988) no descartan que pueda establecerse un paralelismo entre esto y la gran dificultad que históricamente supuso establecer como afectaba la cantidad de sustancia al equilibrio químico.

Dentro de este apartado podríamos incluir también las dificultades que muestran bastantes alumnos para comprender que ciertas sustancias (por ejemplo, los sólidos) pueden presentar una concentración fija durante la reacción y en el equilibrio (Wheeler y Kass, 1978 y Furió y Ortiz, 1983; véase en el apéndice la tarea nº 53).

f) Dificultades con la constante de equilibrio

La constante de equilibrio, como su propio nombre indica, es constante ante cualquier variación de las condiciones en que tiene lugar este, siempre que se mantenga constante la temperatura.

Se ha comprobado que existe un porcentaje relativamente alto de alumnos que considera que la constante de equilibrio puede variar (Wheeler y Kass, 1978; Furió y Ortiz, 1983; Hackling y Garnett, 1985; Gorodetsky y Gussarsky, 1986). Hackling y Garnett utilizando el equilibrio



cuya constante viene expresada por

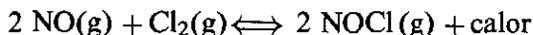
$$K_c = \frac{[\text{NOCl}]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{Cl}_2]}$$

han observado que una parte de los estudiantes consideraba que la constante de equilibrio aumentaba cuando se producía un aumento en la concentración de NO, pues este provocaba, a su vez, un aumento de la concentración de NOCl. Esto sugiere que los estudiantes se centran en la variación de la concentración de una sola de las sustancias (NOCl), prescindiendo de los cambios en la concentración de las otras especies implicadas, sin comprender la relación que existe entre las concentraciones de todas las sustancias implicadas.

Se encontró también que, entre los estudiantes que pensaban que la constante no variaba, unos cuantos consideraban que no variaba tampoco con la temperatura. Hackling y Garnett (1985) sugieren que probablemente esos estudiantes aprendieron que la constante de equilibrio tiene un valor fijo y lo aplican a todas las situaciones.

g) Cambio en las condiciones del equilibrio

Es este un apartado que conecta con el tratado anteriormente. Se les pidió a los estudiantes que predijeran como afectaría al equilibrio



el hecho de añadir más NO. El error más común que se detectó (Hackling y Garnett, 1985) fue considerar que la concentración de NO se mantendría en el nuevo valor (la cantidad original más la añadida), pero la concentración de cloro disminuiría y la de NOCl aumentaría. Esto indica que algunos alumnos no comprenden la relación entre las sustancias que forman el sistema y que este evoluciona como un todo, aumentando la concentración de unos y disminuyendo la de otros.

Cuando se les pidió que explicaran como se verían afectadas las velocidades de las reacciones directa e inversa al alterar las condiciones del equilibrio, un error muy común era considerar que la velocidad de la reacción favorecida aumentaba mientras que disminuía la de la otra reacción. Parece que estas interpretaciones están inducidas por la creencia de que la velocidad de la reacción varía para favorecer los cambios esperados al aplicar el Principiuo de Le Chatelier. Por otra parte, cuando se restablece el equilibrio, aunque la mayoría considera que las velocidades inversa y directa son iguales, unos cuantos consideran que son las mismas que en el equilibrio inicial.

h) Efecto de los catalizadores sobre el equilibrio

Los catalizadores son sustancias que pueden aumentar o disminuir la velocidad de una reacción química. En el caso de un equilibrio afectan por igual a la velocidad de las reacciones directa e inversa, así, suponiendo que el catalizador aumente la velocidad de reacción, aumentará en la misma proporción ambas velocidades. Consecuentemente se alcanzará un equilibrio idéntico al que se hubiera alcanzado sin él, sin embargo, el equilibrio se alcanzará más rápidamente.

Un error detectado al explicar el efecto de un catalizador fue el considerar que afectaba de forma distinta a la velocidad de la reacción directa y a la velocidad de la reacción inversa. Así, consideran que los catalizadores no afectan a la velocidad de reacción inversa o incluso la hacen disminuir (Johnstone, MacDonald y Webb, 1977; Hackling y Garnett, 1985). Esto parece indicar una comprensión incompleta del mecanismo de una reacción y del hecho de que existe un estado de transición común para la reacción directa y para la reacción inversa. Algunas veces también suponen que los catalizadores afectan a la proporción en la que aparecen las concentraciones de productos y reactivos, por tanto, consideran que afecta al equilibrio. Otras veces piensan que

el catalizador puede servir para dirigir la reacción en el sentido en que nos interese (Johnstone, MacDonald y Webb, 1977).

6.5.3 Estrategias que utilizan los estudiantes en la comprensión del equilibrio

Se ha realizado un estudio sobre las ideas de los estudiantes en la comprensión del equilibrio químico utilizando un test de asociación de palabras (Cachapuz y Maskill, 1987). En él se les presentó a los alumnos dos problemas en los que se pedía que predijeran hacia donde se desplazaría cuando se variaban de una determinada manera las condiciones del equilibrio. Los autores de este estudio han descrito las estrategias más importantes con que los alumnos abordan la explicación, citando las cuatro que se describen a continuación:

a) Estrategia basada en el Principio de Le Chatelier correctamente entendido

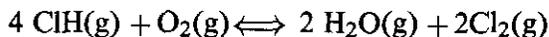
En ella los alumnos utilizan correctamente el Principio de Le Chatelier.

b) Estrategia cinética

Esta es, entre las estrategias incorrectas, la que utilizaban en más ocasiones. En ella consideran que la velocidad de la reacción es quien gobierna el equilibrio, interpretándolo en términos de colisiones entre partículas. Generalmente se fijaban nada más que en la velocidad de la reacción directa, quedando latente detrás de ello la idea de compartimento. La utilización de esta estrategia permite por tanto explicar parte de los errores conceptuales que hemos citado anteriormente.

c) Estrategia mecánica

Se fijan en los coeficientes de la reacción, en los átomos de la sustancia que les interesa. En la reacción:



cuando se les preguntaba cómo habría que modificar la presión para obtener más cloro, contestaban en función del número de átomos de

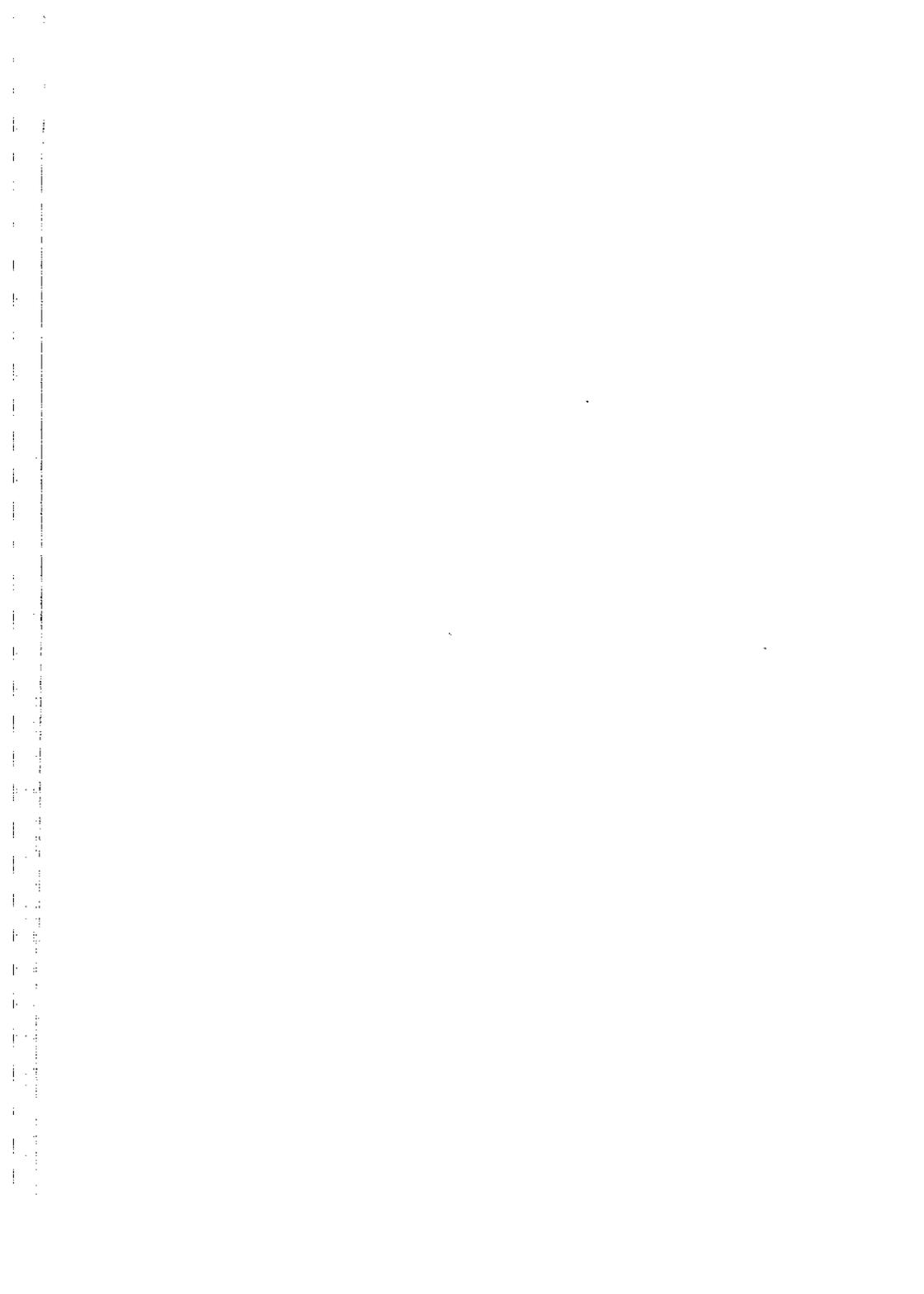
cloro de cada miembro. Si en un miembro consideraban más átomos que en otro (confunden átomos y moléculas) decían que en este habría más rendimiento. En el caso de que consideraran el mismo número de átomos, tomaban la decisión en función del miembro en el que se encontraba el Cl_2 .

d) Estrategia basada en analogías con otros problemas

En esta estrategia los alumnos trataban de comparar el problema con otro ya conocido para ellos y que les resultara más familiar. Por otra parte, también trataban de establecer analogías entre los efectos de dos variables, por ejemplo, buscaban una analogía entre la variación debida a la presión y la debida a la temperatura o entre el efecto de la variación de la temperatura y el efecto de un catalizador.

Según los autores, la naturaleza abstracta del concepto de equilibrio, obliga a los estudiantes a fijarse en experiencias prácticas y analogías como, por ejemplo, la idea de compartimentación. Por otro lado puede provocar confusión la utilización de ideas similares poco diferenciadas (efectos de presión, temperatura, etc.) y la tendencia de los alumnos a fijarse en aspectos irrelevantes del problema.

En definitiva, puede observarse que en la descripción que hemos hecho del equilibrio químico entre las ideas de los estudiantes aparecen numerosas concepciones erróneas que, en base a su posible origen, podríamos clasificar en los tres grandes grupos que describíamos en el Capítulo 2: concepciones espontáneas, concepciones inducidas y concepciones analógicas. En ellas se reconocen las características del pensamiento causal enunciadas en ese mismo capítulo, principalmente la tendencia a utilizar esquemas de causalidad lineal, considerando los efectos en un sólo sentido y olvidando los efectos recíprocos que caracterizan a todo sistema en equilibrio. Desde el punto de vista epistemológico hemos de tener en cuenta que para el desarrollo de este tema es necesario que el alumno comprenda *correctamente*, tanto en sus aspectos teóricos como en sus aspectos cuantitativos, conceptos como el mol, la concentración, la reacción química, los cálculos estequiométricos, etc. Así mismo, el estudio del equilibrio químico, exige tener muy claras las ideas sobre el mecanismo de una reacción a través de las colisiones moleculares (Maskill y Cachapuz, 1989) y sus aspectos cinéticos.



CAPITULO 7

VARIABLES RELACIONADAS CON EL RENDIMIENTO EN QUIMICA

Hasta el momento, los trabajos revisados presentan un cúmulo de datos descriptivos sobre la comprensión del alumno en un conjunto de tareas muy concretas de contenido químico. Estos datos, sin embargo, por razones de tipo metodológico, nos nos permiten predecir o explicar la actuación de un sujeto determinado en una tarea dada, puesto que no llevan a cabo experimentos en los que se manipulen variables contextuales que pudieran estar afectando en el rendimiento de la tarea. Sin embargo, hay estudios que analizan la relación entre el rendimiento en química y ciertas variables predictoras que explican parte de la varianza en el rendimiento de una tarea química. Estos estudios presentan una serie de peculiaridades sobre las que hay que poner en aviso al lector.

En primer lugar, no todos los factores que pueden influir en el rendimiento en química han sido estudiados por igual e incluso hay variables que han sido trabajadas de modo un tanto simplista o poco exhaustivo y que, sin embargo, podrían tener un peso específico en el tema que nos ocupa. En nuestra exposición de estos trabajos, comenzaremos por aquellos factores que han sido más estudiados para terminar con aquellos que lo han sido escasamente.

En segundo lugar, es necesario aclarar que aquel bloque de variables que presentamos como variables psicológicas o variables del sujeto son trabajos en su mayoría de corte psicométrico o cuantitativo, siendo escasos o nulos los estudios cualitativos, con lo cual a la hora de evaluar el rendimiento de los alumnos sobre diferentes conceptos nos encontramos con el problema de que lo que evaluamos realmente es si

maneja la estrategia que se requiere en ese problema, pero desconocemos si comprenden el concepto que se está poniendo en juego, es decir, no sabemos si lo que están resolviendo es un ejercicio o un problema.

Y por último, no está de más aclarar que no todos los conceptos químicos han sido estudiados en igual medida, por lo que nos encontraremos con que hay conceptos que no han sido relacionados con ninguna variable y otros que lo han sido con unas pero no con otras, por lo que consideramos que no estará de más especificar en el momento oportuno este punto con el fin de que las generalizaciones se hagan con la máxima prudencia. Comenzaremos por aquellas variables centradas en el sujeto que pueden estar influyendo en la comprensión y aplicación de conceptos químicos, para acabar con las variables instruccionales que han sido objeto de estudio.

7.1 VARIABLES PSICOLOGICAS

7.1.1 Pensamiento formal

Como ya vimos en el primer apartado de esta Memoria el haber alcanzado el último estadio de desarrollo cognitivo, es decir, el estadio de las operaciones formales descrito por Inhelder y Piaget, le confiere al alumno una serie de capacidades o habilidades necesarias para hacer o comprender ciencia. Distintos autores (Herron, 1975; Shayer y Adey, 1981) han intentado relacionar los rasgos del pensamiento formal piagetiano y la comprensión de los conceptos químicos por parte de los alumnos. Así, la tesis de Herron es que el aprendizaje de conceptos químicos estaría relacionado sustancialmente con el nivel de desarrollo intelectual de los estudiantes. Sin embargo, los datos que se manejan apuntan que por encima del 50% de los alumnos en enseñanza secundaria no manejan las operaciones formales. Este autor presenta una taxonomía de habilidades o conceptos químicos que requieren pensamiento formal. Dicha taxonomía contiene aspectos que pueden ser aprovechables en la enseñanza de la química por ser más generales y otros que al ser muy puntuales, por ejemplo, son capaces de preparar 1.000 ml de una disolución de concentración 1 M. a partir de la definición de molaridad, hace difícil su aplicación más allá de la habilidad a la que se hace referencia.

El trabajo de Shayer y Adey, 1981 parte del mismo supuesto que Herron: *"hay un abismo entre los objetivos del currículo y la capacidad*

cognitiva de muchos estudiantes. Y esta capacidad impone el primero de una serie de límites dentro de los cuales será necesario enmarcar el curriculum". Dentro de este supuesto establecen una secuenciación sobre 10 contenidos químicos a partir de un análisis de los mismos desde la teoría piagetiana. Esta secuenciación se hace de acuerdo a dos criterios:

- a) Los esquemas específicos utilizados en las distintas actividades científicas. Así, en química los esquemas más utilizados serían la proporción y el equilibrio de sistemas.
- b) Las características psicológicas del pensamiento de los niños en cada uno de los cinco estadios o subestadios evolutivos, es decir, el pensamiento preoperatorio, el concreto inicial, el concreto avanzado, el formal inicial y el formal avanzado.

Como dijimos anteriormente son 10 los contenidos químicos que se analizan, sin embargo, nosotros trataremos sólo 5 de ellos, puesto que se corresponden con aquellos contenidos que hemos visto en los capítulos anteriores de esta Memoria que son: las disoluciones, los cambios de estado y teoría cinética, compuestos y reacciones y por último, el equilibrio químico.

Disolución: como podemos observar en la tabla 7.1, sólo cuando el alumno se encuentra en el estadio Formal avanzado, 3B, es capaz de entender la disolución saturada como un proceso de equilibrio, en el estadio 3A o estadio Formal Inicial entienden la disolución pero como una mezcla.

Cambios de estado y teoría cinética: no es hasta el estado inicial 3A cuando el alumno está capacitado, con la ayuda de alguien que le oriente, para aplicar la teoría cinética en la comprensión de dos cambios de estado. Pero, desde nuestro punto de vista, para entender esta teoría, es necesario previamente comprender la teoría de partículas (átomos, moléculas).

TABLA 7.1

Análisis de 10 contenidos Químicos a partir de la teoría piagetiana

Tema	2A. Concreto inicial	2B. Concreto avanzado
Q.1 Disolución	La sal o el azúcar se disuelven en el agua. La masa de la sustancia disuelta (como idea global de cantidad) se conserva, pero su volumen no. (Para el niño de nivel preoperatorio la sustancia disuelta simplemente desaparece).	El proceso se entiende como reversible.
Q.2 Cambios de estado. Teoría cinética	Se usan informaciones parciales como un sólido "se convierte en vapor".	El hielo se convierte en agua; el humo se convierte en vapor; cada uno de estos procesos puede volverse atrás por enfriamiento. El calor causa la fusión; el enfriamiento la solidificación. Imagen muy simple de teoría cinética que representa las moléculas muy juntas o muy separadas, pero que no se sabe aplicar a la realidad.
Q.3 Velocidad de reacción	El más caliente va más deprisa. El más fuerte va más deprisa. El débil es el más lento.	Si se dobla la fuerza, la reacción es doble de rápida. Si se eleva la temperatura unos 10°C la reacción es casi el doble de rápida. Si se parte el sólido en pedazos, la reacción va más deprisa porque el líquido tiene más puntos de contacto.
Q.4 Elementos y Teoría de Partículas	Puede realizar ejercicios rutinarios de purificación, pero entendiéndolos como algo mágico, no analíticamente. No tiene un sentido real del significado de elemento.	Noción de sustancia pura y de purificación como algo aprendido rutinariamente. El elemento como una sustancia que nadie ha podido descomponer en algo más simple. Con alguna orientación, puede ordenar las propiedades de los elementos, y por tanto, formar "familias" de elementos.

Tema	3A. Forma Inicial	3B. Formal avanzado
Q.1 Disolución	Las partículas se entremezclan, pero permanecen "igual" de tal forma que cada una conserva su volumen, su peso y sus propiedades químicas.	La saturación supone una situación de equilibrio, en la cual la velocidad de precipitación = velocidad de disolución.
Q.2 Cambios de estado. Teoría cinética	Con la ayuda de alguien que le oriente, el sujeto puede aplicar la teoría cinética a la realidad y deducir que todos los materiales podrían existir como sólidos, líquidos o gases, dependiendo del estado de sus partículas. La licuefacción significa que todas las partículas se mueven con más rapidez y así pueden cambiar su posición. Se puede medir la cantidad de energía necesaria para hacer esto por ejemplo por medio de un calorímetro.	A este nivel, el modelo de la teoría cinética se usará deductivamente, por ejemplo, se explica cómo las partículas en el vapor están muy separadas y que sin embargo el vapor pueda ser fácilmente comprimido. La fusión y la evaporación son procesos de equilibrio. El calor latente es la energía necesaria para vencer la barrera de potencial entre el líquido y el vapor. Pueden compararse diferentes barreras de potencial en distintos líquidos comparando cantidades equimolares
Q.3 Velocidad de reacción	Cuando rompes el sólido, la reacción es más rápida porque el área de contacto es mayor. Examinando una gráfica se puede ver que la pendiente de la curva disminuye, por tanto la velocidad de reacción también disminuye. Esa parte de esa gráfica muestra que esa reacción es más rápida que ésta. Al descender la concentración también baja la velocidad.	1/t mide la velocidad de la reacción, por tanto, la gráfica muestra que la velocidad es proporcional a la concentración. Si se dobla la concentración, se dobla la posibilidad de contacto y por tanto se dobla la velocidad. Si se dobla la concentración de dos reactantes, la velocidad aumenta cuatro veces más. ¿Y la temperatura? Las partículas van más deprisa y por tanto chocan con más frecuencia. Chocan también más fuerte y así hay más reacción. Por tanto, una pequeña elevación de temperatura puede tener un efecto considerable en la velocidad de la reacción. Puede interpretar las curvas de vida media, crecimiento y desintegración en radio-química. Puede preparar y llevar a cabo una investigación sobre las variables que rigen la velocidad de descomposición del peróxido de hidrógeno.
Q.4 Elementos y Teoría de Partículas	Los átomos tienen una estructura. Algunos átomos son iguales entre sí, otros son diferentes. El elemento entendido como una sustancia de una clase de átomos, o como un simple modelo "con todas las bolitas rojas". La pureza es entendida en este mismo sentido. Sabe que es imposible obtener una pureza del 100 por ciento, pero no entiende la escala de números implicados. La tabla periódica es conceptualizada como una colección de "familias" de elementos; entiende los ejemplos más sencillos de los dos modos de variación gradual de las propiedades.	Medidas de pureza y límites de pureza. Comprende la relación entre la evidencia experimental y los distintos modelos del átomo. Realiza el experimento de la gota de aceite para ver la longitud de las moléculas de ácidos grasos. La tabla periódica es entendida como una compleja estructura clasificatoria que relaciona las propiedades de los elementos y de los compuestos entre sí y con su estructura atómica. Razonamiento suficiente para captar la hipótesis de Avogadro y su aplicación a las fórmulas de los volúmenes de los gases en reacción.

Tema	2A. Concreto inicial	2B. Concreto avanzado
Q.5 Compuestos, reacciones y su representación química.	Usa los nombres, pero sólo asociativamente. No da contenido a la nomenclatura química, por tanto no es posible la representación.	Recuerda las combinaciones químicas, sin apreciar aún las reglas generales. La composición de los compuestos deducida por una especie de nemotécnica, por ejemplo, el agua está compuesta por hidrógeno y oxígeno y producirá. Puede usar ecuaciones con letras para indicar una reacción reversible, como la producida por el calor sobre el sulfato de cobre hidratado. Pero la palabra "cobre" en ese nombre se usa meramente como una etiqueta, por tanto, la ecuación es sólo una afirmación de un hecho.
Q.6 Ácidos y gases	"Ácido" como nombre de sustancias con ciertas propiedades como colorear el papel de tornasol, atacar los metales, tener un sabor agrio, pero consideradas aisladamente, no como características que los definen.	Los ácidos y las bases como facciones opuestas. La escala de pH como una gradación de la acidez. La neutralización por medio de cantidades iguales de ácido y base, si el profesor ha preparado disoluciones equivalentes. Si se dobla la cantidad de ácido, o se dobla su concentración, se necesitará doble cantidad de la base. Los óxidos de metales son alcalinos, los óxidos de no-metales son ácidos.
Q.7 Oxidación y reducción	El oxígeno puro hace perder las cosas con más fuerza que el mismo aire.	El carbono reduce los óxidos de los metales a metales. El oxígeno puede oxidar un metal. Los metales pueden colocarse en una serie de reactividad por su rapidez y vigor para quemarse.
Q.8 Equilibrio químico		Los ácidos opuestos a las bases: cada uno neutralizará al otro. El calor con frecuencia descompone las sustancias químicas. Las sustancias químicas con frecuencia producen calor cuando reaccionan.

Tema	3A. Forma inicial	3B. Formal avanzado
<p>Q.5 Compuestos, reacciones y su representación química</p>	<p>Puede entender la conservación de los elementos en una reacción de intercambio, por tanto, tiene por primera vez un modelo de reacción química. Puede hacer ecuaciones químicas si se ha ejercitado mucho hasta aprender las reglas del juego. Comprende la relación entre las ecuaciones químicas y las reacciones, pero aún no se puede esperar que el alumno sepa usarlas para estimar cantidades, excepto cuando lo ha aprendido por la práctica en situaciones específicas. Puede usar la teoría atómica y modelos simples de estructuras atómicas para explicar el cambio químico.</p>	<p>Uso funcional de los símbolos químicos. Sigue el enfoque de Nuffield en el aprendizaje de las ecuaciones: de la situación experimental, pasa a la idealización más aproximada de los hechos que se ajustan a la medida y de aquí a la ecuación ajustada. Usa deductivamente el concepto de mol, y puede analizar un problema para ver cómo aplicar el paso a moles o molaridades y el paso opuesto a volúmenes o masas. El equilibrio se entiende como un proceso dinámico entre las sustancias reactantes y los productos</p>
<p>Q.6 Acidos y bases</p>	<p>La reacción de un ácido con una base es $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$. Limita el cambio de pH sólo por dilución. Los ácidos son disoluciones; sin agua no hay acidez. Conservación durante la neutralización: nada se pierde, y el nuevo producto es en principio recuperable. Problemas como $N_1V_1 = N_2V_2$ vistos en la práctica.</p>	<p>Las reacciones entre un ácido y una base entendidas como una perturbación del equilibrio entre los iones H^+ y OH^- en el agua. Uso de cantidades molares para encontrar la ecuación de la reacción entre un ácido y una base. Puede apreciar que hay iones de H^+ aun en 1.0M de hidróxido de sodio y, por tanto, tiene una comprensión racional de la escala de pH.</p>
<p>Q.7 Oxidación y reducción</p>	<p>Posee un modelo de reacción química en la que se conservan los elementos, por tanto, puede predecir que cuando el carbono o un metal reactivo reduce un óxido, resulta un producto que es dióxido de carbono o un óxido metálico. A partir de una serie de reacciones puede elaborar una serie de reactividad, y a partir de esa serie puede predecir las reducciones que se producirán. La oxidación es un aumento de oxígeno o de otro no-metal.</p>	<p>Comprende que existen diferentes teorías o modelos de oxidación-reducción y puede compararlas críticamente. Puede usar un modelo de reacción aun cuando lo que ve sea paradójico, por ejemplo, al quemar magnesio sabe que el gas producido tiene que ser hidrógeno. Está preparado para dar una explicación de la oxidación en términos de cambios de valencia o de formación de enlaces.</p>
<p>Q.8 Equilibrio químico</p>	<p>Una reacción puede ir más lejos del resultado que se espera si se añade un exceso de cualquiera de las sustancias químicas. No todas las reacciones llegan al final del proceso. Algunas reacciones son reversibles.</p>	<p>Puede utilizar un modelo dinámico de choques moleculares o iónicos para explicar que la reacción siempre va en dos direcciones. Por tanto, el equilibrio en un sistema de cuatro componentes puede ser alterado en ambas direcciones añadiendo un exceso de uno de los componentes en el lado opuesto. Puede igualmente entender que al quitar una sustancia de uno de los lados puede hacer que el equilibrio se rompa.</p>

Tema	2A. Concreto inicial	2B. Concreto avanzado
Q.9 Sustancias químicas y energía	Ese es más fuerte que éste porque está más caliente (o más brillante).	Se pueden comparar (las distintas sustancias químicas) viendo el calor que producen, etc. Existe una afinidad para las series del oxígeno. Si una reacción tiene que calentarse es porque es débil. Si se desea que produzca más energía se tendrá que usar un elemento que esté a la cabeza de la serie, o usar más cantidad de la sustancia.
Q.10 Química orgánica		Nombres de compuestos simples, y descripción de sus propiedades físicas.

Tema	3A. Forma inicial	3B. Formal avanzado
Q.9 Sustancias químicas y energía	Comparación de las energías de reacción midiendo el grado de calor que producen (pero sólo para cantidades equimolares, si el profesor lo prepara de este debida a una mayor atracción de las moléculas o átomos.	Es preciso comparar cosas semejantes, por tanto, son necesarias las cantidades equimolares. Uso de diagramas que muestran el nivel de energía para responder a las preguntas. Comparación del calor producido por las reacciones de los cloruros en el nitrato de plata. Trabajo y calor. Descripción en términos de re-ordenación molecular en relación a la energía cinética de vibración. Se puede hacer que (algunas) reacciones vuelvan hacia atrás por medio del uso de energía eléctrica.
Q.10 Química orgánica	Clasificación de algunas familias simples en términos de su grupo funcional común. La ausencia de las más elementales reglas de la química iónica da lugar a confusión.	Reacciones entre compuestos, y modelo deductivo-explicativo de las propiedades de los compuestos en términos de sus grupos funcionales y de su estructura 3D. Entiende que hay un sistema de transformaciones posibles entre las diferentes familias de los compuestos y puede empezar a almacenar conocimientos sobre el sistema.

Tabla tomada de Shayer y Adey, 1981.

Teoría de partículas: Shayer y Adey hacen un análisis de la teoría de partículas desde el concepto de disolución, este análisis resulta limitado porque no aborda conceptos en los que está implicada esta teoría como, por ejemplo, los cambios de estado, reacciones químicas, velocidad de reacción o el equilibrio químico. El alumno en el nivel 3A entiende los elementos desde el punto de vista atómico y conoce cómo está estructurada la tabla periódica pero, sin embargo, no entiende por qué está estructurada de este modo, no es hasta el nivel 3B cuando la relaciona con la estructura atómica de los elementos.

Compuestos y reacciones: en el nivel 3A Shayer y Adey nos dicen que el alumno es capaz de comprender la relación entre las ecuaciones químicas y las reacciones pero no es capaz de usarlas para estimar cantidades. Ahora bien, nosotros nos preguntamos si comprender esa relación no implicaría también comprender que las ecuaciones son relaciones cuantitativas, lo que significaría que esa comprensión es ficticia. No sería entonces, hasta el nivel 3B donde comprenderían estos conceptos.

Equilibrio químico: hasta el nivel 3B, el alumno es incapaz de entender que el equilibrio químico es un proceso dinámico en dos direcciones.

Hasta aquí hemos visto un intento de evaluar los objetivos curriculares a partir de la teoría piagetiana de los estadios, pasamos ahora a ver hasta qué punto el pensamiento formal es necesario y/o suficiente en el rendimiento en química. Desde un enfoque psicométrico, los trabajos que se han llevado a cabo confirman que el razonamiento formal es una variable que influye en el rendimiento en química (Chandran, Treagust y Tobin, 1987; Niaz y Lawson, 1985). El trabajo de Chandran *et al.* 1987, sobre una muestra de sujetos con un promedio de edad de 15 años y 6 meses examinan 4 variables cognitivas: el pensamiento formal, el conocimiento previo, dependencia/independencia de campo y capacidad de memoria sobre el rendimiento en química, medido por pruebas de aplicación en el laboratorio, cálculos químicos y conocimiento del contenido. La actividad en el laboratorio consistía en observar

en primer lugar, una reacción química y responder después a cuestiones relacionadas con la observación, con razonamiento, con el uso de ecuaciones, haciendo hipótesis y predicciones. Los cálculos químicos se examinaban mediante dos tipos de problemas: razonamiento estequiométrico y porcentajes de composición (percentage composition). El conocimiento del contenido evaluaba aspectos como el concepto de mol, la teoría cinética, tabla periódica, fórmulas y ecuaciones y procedimientos de laboratorio. Los resultados, tal y como podemos ver en la tabla 7.2. muestran que las 4 variables están interrelacionadas, es decir, que los sujetos formales tienen un mayor conocimiento previo, son más analíticos y su capacidad de memoria es mayor. Asimismo, observamos que la varianza explicada por el razonamiento proporcional depende del tipo de problema, así en las aplicaciones de laboratorio explica cerca de un 13% y en el conocimiento del contenido cerca de un 14.5%.

Niaz y Lawson, 1985 sobre una muestra de 25 alumnos (desde 20 a 44 años), estudiantes universitarios, concluyen que el pensamiento formal es necesario para ajustar reacciones, tanto simples como complejas. A partir de los trabajos que hemos visto se puede concluir que el pensamiento formal es necesario en la comprensión y aplicación de conceptos químicos pero no suficiente ya que, en primer lugar, ha habido numerosos estudios que han puesto de manifiesto que el pensamiento formal no constituye una estructura de conjunto sino más bien un conjunto de destrezas adquiridas separadamente, dependientes del contenido de la tarea y por lo tanto, inseparables del dominio en el que se sitúa la tarea. En segundo lugar, se ha puesto en duda, incluso, la propia existencia del estadio formal pues buena parte de los sujetos con los que se ha trabajado no resolvían adecuadamente las tareas formales. Sin embargo, tal y como señala Carretero, 1985 se vió que esta falta de uso del pensamiento formal se debía a problemas no de competencia sino de actuación, es decir, que el manejo o no de pensamiento formal está mediatizado tanto por variables de la tarea -tipo de instrucciones, forma de presentar la tarea, contenido de la misma, como por variables del sujeto que resuelve la tarea -espacio mental, sexo, estilo cognitivo-. De estos factores nos vamos a ocupar a continuación.

TABLA 7.2
Correlación entre las variables predictoras y las variables que evalúan rendimiento

Variables predictoras	Variables del Rendimiento						
	Razonamiento Formal	Conocimiento Previo	DIC	Capacidad de memoria	Aplicaciones de laboratorio	Cálculos químicos	Conocimiento del contenido
Razonamiento Formal	1.0	0.32	0.20*	0.20*	0.36**	0.41*	0.38**
Conocimiento Previo		1.0	0.11	0.07	0.26*	0.21*	0.23**
DIC			1.0	0.18	0.04	0.08	0.16
Capacidad de Memoria				1.0	0.05	0.06	0.7
Aplicaciones en el laboratorio					1.0	0.35*	0.30**
Cálculos químicos						1.0	0.44*
Conocimiento del contenido							1.0

* p < 0.001 Tomado de Chandran, Treagust y Tobin, 1987.

7.1.2 Capacidad mental

Este concepto surge dentro de la teoría neopiagetiana de los Operadores Constructivos desarrollada por el español Pascual-Leone, nace como un intento de explicar los estadios de la teoría piagetiana y los desfases encontrados, su explicación está basada en una definición de esos estadios en términos cuantitativos. Esta teoría se basa en tres nociones fundamentales: la noción piagetiana de esquema, la noción de campo de activación y la noción de activadores de esquemas (Carretero, 1983).

Los esquemas hacen referencia a las unidades funcionales o estructuras que hacen posible la representación que el sujeto tiene del mundo. El campo de activación consiste en el conjunto de esquemas que son activados, pero no todos los esquemas que son activados llegan a aplicarse sino sólo aquellos que dispongan de una mayor fuerza asimiladora, inhibiéndose aquellos con menor peso de activación. Esta fuerza asimiladora depende de varios factores que componen el sistema metasubjetivo o procesos internos del sujeto, estos factores son los activadores de esquemas o también llamados operadores constructivos. La capacidad mental o espacio mental (M) forma parte de estos operadores y se define como el número máximo de esquemas que pueden activarse a un tiempo, M parece que se corresponde con la memoria a corto plazo. La capacidad mental no es la misma en los niños que en los adultos, de tal forma, que el paso de un estadio a otro en el desarrollo evolutivo consiste entre otras cosas, en un aumento del espacio mental disponible. De este modo, el sujeto a la edad de 3 años es capaz de manejar 1 esquema, a los 5 años 2 esquemas, a los 7 años 3 esquemas, aumentando cada 2 años 1 esquema hasta llegar a los 15 con 7 esquemas. La teoría neopiagetiana apunta que la disponibilidad de una capacidad M determinada no quiere decir que todos los sujetos la utilicen sino que en un momento dado sólo mobilizan una capacidad M funcional. El valor de la capacidad funcional dependerá de varios factores, entre los que se encuentran el estilo cognitivo, el grado de fatiga, el nivel de motivación, etc.

Por otro lado, según esta teoría los desfases se explicarían en términos de la cantidad de información que contenga un problema o demanda de la tarea. No obstante, no se cuentan con criterios objetivos para evaluar la demanda cognitiva de las tareas, constituyendo este punto una de las mayores debilidades con las que cuenta la teoría de los Operadores Constructivos.

El concepto de espacio mental ha sido trabajado fundamentalmente por (Niaz, 1988 a; Niaz, 1988 b; Niaz, 1989; Chandran, Treagust y Tobin, 1987 y Niaz y Lawson, 1985). Los resultados, en general, apuntan a que este factor explica hasta el 14.5% de la variación en el rendimiento de problemas de disolución (Niaz, 1988b), un 12% en cálculos químicos y el 9% en conocimiento del contenido Chandran *et al.*, 1987.

Niaz además de estudiar la capacidad funcional M, explora otras 3 variables que son el razonamiento formal, la dependencia/independencia de campo y el nivel de inteligencia general. Los diferentes contenidos químicos que trabaja en sus investigaciones son los siguientes: Cálculos estequiométricos, composición centesimal, fórmulas empíricas y moleculares, disoluciones, ajuste de ecuaciones, estructura atómica y tabla periódica, gases, leyes fundamentales (como se puede ver el rango de conceptos explorados es muy amplio).

Los resultados a los que llega se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. El rendimiento de los sujetos aumentaba a medida que la capacidad funcional incrementaba.
2. El rendimiento disminuía cuando la demanda de la tarea aumentaba.
3. Cambios muy pequeños en la demanda de la tarea pueden suponer una sobrecarga de la memoria de funcionamiento.
4. Las cuatro variables cognitivas correlacionaban entre sí, lo que significa que aquellos sujetos que aprovechan mejor su capacidad mental son mejores pensadores formales, más inteligentes y más independientes de campo.

Por otra parte, en el trabajo de Niaz y Lawson, 1985 se comprueba que en el ajuste de reacciones cuya resolución requiere varios pasos, se precisa de pensamiento formal así como de la suficiente capacidad mental. Sin embargo, el estudio de Chandran *et al.* 1987, que ya hemos comentado anteriormente concluye que la capacidad mental no influye en el rendimiento.

Como se ve, la mayor parte de los estudios, excepto el de Chandran *et al.* 1987, confirman esta relación. ¿A qué pueden deberse estas diferencias? Una de las causas que pueden explicar estos resultados contradictorios es la edad de los sujetos de estudio, ya que mientras los datos de Chandran *et al.* 1987, surgen de la actuación de alumnos de 15

años y 6 meses, los datos de (Niaz, 1988a, 1988b, 1989, Niaz y Lawson, 1985), surgen de sujetos más mayores, de 18 años y 6 meses en el caso de Niaz, y de 24 años y 9 meses en el de Niaz y Lawson. Según la teoría de los automatismos de Case, la experiencia mayor de los sujetos con más edad puede haber posibilitado un mejor funcionamiento de la capacidad atencional o memoria de trabajo, debido a la capacidad progresiva de automatizar las operaciones cognitivas (Case, 1985).

Según esta teoría, la capacidad mental (M) no cambia, lo que varía es la capacidad funcional de almacenamiento de la memoria a corto plazo que se va ampliando por la eficacia o automatismo de las estrategias cognitivas, esta mayor eficacia libera a la memoria de trabajo, permitiéndola conforme el automatismo aumenta hacerse cargo de demandas cognitivas cada vez mayores.

7.1.3 Dependencia/Independencia de Campo

Como hemos visto en el apartado anterior, según Pascual-Leone, el valor de la capacidad funcional depende de factores tales como el grado de fatiga, la motivación y los estilos cognitivos. Este último factor ha sido concebido "como estructuras estables del yo que sirven para coordinar las intenciones y deseos del sujeto y las demandas de la situación" (Carretero, 1983). Un determinado estilo cognitivo está relacionado con actividades perceptivas e intelectuales así como con características de personalidad (Fernández Ballesteros, 1980). El estilo cognitivo denominado Dependencia -Independencia de campo es un constructo bipolar en el que los sujetos se distribuyen en un continuo. Las características generales del funcionamiento cognitivo de los sujetos dependientes-independientes de campo se pueden resumir en las siguientes (Carretero, 1982; López Rupérez, 1989; Witkin y Goodenough, 1981):

1. Los sujetos independientes de campo -IC- son más autónomos que los dependientes de campo -DC- respecto a la información exterior.
2. Los sujetos IC tienen una mayor capacidad para reestructurar el campo perceptivo.
3. Asimismo les resulta más fácil que a los sujetos DC aislar un elemento de su contexto.
4. Tienen una mayor capacidad para la resolución de situaciones que se ven obstaculizadas por la inducción de un conocimiento figura-

tivo, así como una mayor capacidad para utilizar otras estrategias cuando las que se aplican no son adecuadas.

5. Y por último, los sujetos IC se ven menos influidos en su funcionamiento cognitivo por trastornos emocionales.

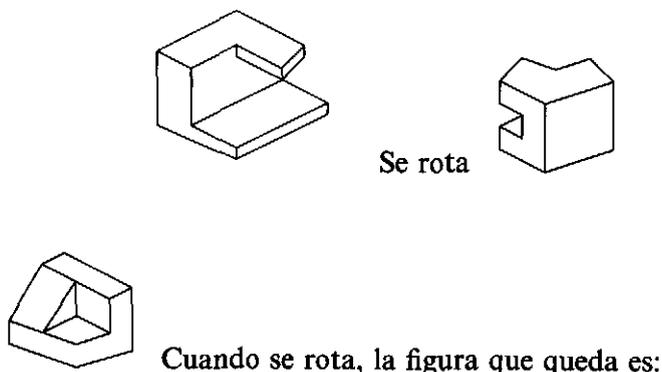
La mayoría de los trabajos relativos a la DIC y la resolución de problemas químicos se han hecho dentro del marco teórico neopiagetiano, como variable que puede afectar al aprovechamiento de la capacidad mental de la cual disponemos. Según Pascual-Leone la DIC mediría la capacidad del sujeto para seleccionar ante un problema dado, la estrategia más apropiada entre las disponibles. Sobre una muestra de sujetos universitarios, Niaz, 1989 comprueba que para un grupo de sujetos con el mismo espacio M, los sujetos independientes de campo resuelven mejor los problemas que los dependientes de campo. Asimismo, Fall y Voss, 1985 (citado en López Rupérez, 1989) concluyó con alumnos de química de enseñanza secundaria que los sujetos IC son más efectivos en aquellos problemas de química que implican razonamiento proporcional. Esta mejora de los IC se basa en la capacidad de extraer la información relevante de un enunciado que contiene tanto información relevante como irrelevante, siendo superiores también cuando el problema requiere utilizar información que no está presente en el enunciado.

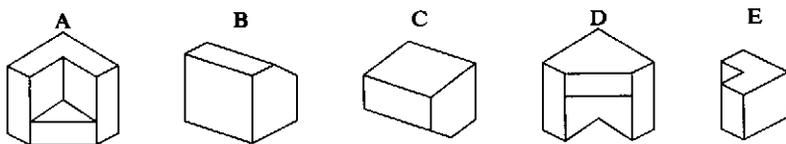
En el trabajo de Chandran y *et al.*, no se encontró una relación significativa entre DIC y rendimiento en problemas de química. Tampoco Niaz y Lawson, 1985 encontraron tal relación en el ajuste de reacciones químicas, por el método de ensayo y error. Como vemos, los resultados de estos estudios muestran datos claramente discordantes, estos datos podrían deberse a la variabilidad de las muestras empleadas con respecto al constructo dependencia - independencia de campo, así como al reducido tamaño de las muestras, por ejemplo, en el estudio de Niaz y Lawson, 1985, la muestra está compuesta por veinticinco sujetos y veintiuno son mujeres. En este estudio el factor sexual también puede estar influyendo pues se ha visto que las mujeres tienen una mayor tendencia a la DC (Fernández Ballesteros, 1980). Con respecto al trabajo de Chandran *et al.*, no tenemos datos a este respecto, por lo que no podemos saber si estos factores influyen o no en los resultados.

7.1.4 Razonamiento espacial

Los trabajos que vamos a englobar bajo este epígrafe hacen referencia a la habilidad de los sujetos para desenmascarar la información

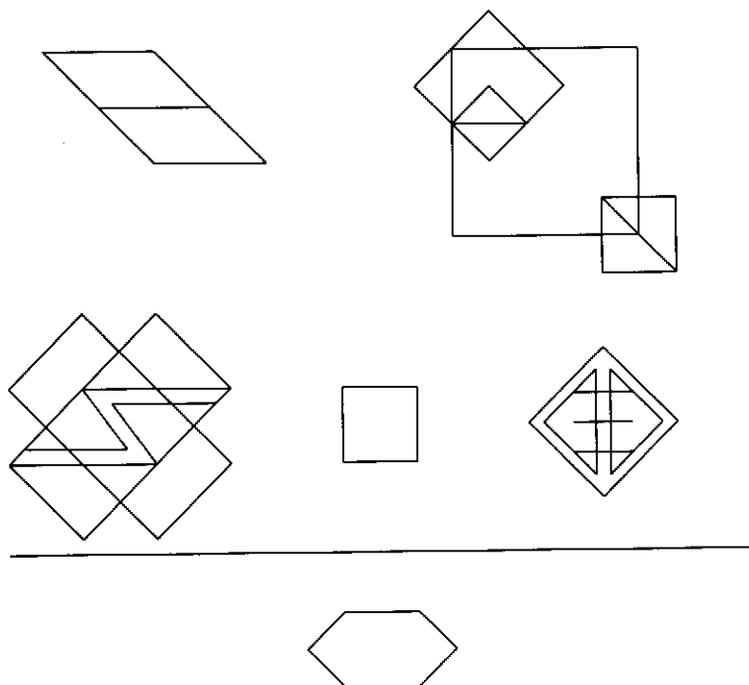
relevante y reestructurar el problema ante el cual nos enfrentamos, por tanto, puede ser entendida como una dimensión de la dependencia-independencia de campo. Según Bodner y McMillen, 1986; Pribyl y Bodner, 1987; Carter, La Russa y Bodner, 1987) existe una etapa temprana en la resolución de problemas en la que los alumnos separan o aíslan la información relevante de la irrelevante, manejan simultáneamente los diferentes elementos del problema, para llegar a la reestructuración del problema, lo que supone convertir el enunciado en algo comprensible para el sujeto. Los aspectos químicos estudiados por el grupo de Bodner abarcan desde problemas de química orgánica, que exigen construir y manipular representaciones de dos y tres dimensiones hasta cuestiones de cálculos estequiométricos, de estructura del cristal, leyes de los gases, geometría molecular, y química descriptiva (como puede verse estos son temas que corresponden a un nivel de instrucción superior al ciclo 12-16). En los tres estudios, la relación era significativa, incluso con tareas que se creía no implicaban habilidades espaciales. Los resultados sugieren que el 15% de la varianza en los exámenes de química son explicados por la habilidad espacial. Estos resultados confirman la importancia del razonamiento analógico en el área de la química. Uno de los problemas que puede tener el alumno y que posiblemente afecte a su rendimiento en química es la capacidad para representarse o visualizar el problema que se le exige resolver. Sería necesario estudiar si el presentar la tarea de forma analógica o de forma química produce un rendimiento significativamente diferente en los sujetos.

FIGURA 7.1



Item representativo del test de visualización de rotaciones de Purdue, empleado por Bodner y col. para evaluar el Razonamiento Espacial.

FIGURA 7.2



Item de desenmascaramiento espacial, extraído del test-A-Shape-puzzle. (Encontrar la figura A en el puzzle).

7.1.5 Sexo

Los datos de los cuales disponemos, indican una clara predominancia en el rendimiento en el área de química de los chicos sobre las chicas. Estos datos provienen de un estudio llevado a cabo por la I.E.A. —*International Association for the Evaluation of Educational Achievement* o Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento educativo— entre 1983 y 1986, de la que formaban parte 17 países de todo el mundo (entre los cuales no se incluyó entonces España). Se realizó sobre 3 niveles de edad y grado de escolarización: el primer grado estaba compuesto por niños de 10 años, el segundo nivel estaba constituido por niños de 14 años, y el tercer nivel estaba formado por alumnos de 17-18 años, este nivel estaba subdividido en 3 grupos: uno de biología, otro de física y otro de química.

En todos los niveles, los chicos superaban a las chicas acentuándose las diferencias a medida que aumentaba la edad: de 0.23 a los 10 años a 0.34 a los 14. En el tercer nivel, las diferencias eran mayores en física y química que en biología (0.17 para biología, 0.36 para química y 0.39 para física). Sin embargo, estas son diferencias medias entre los distintos países, pero si analizamos las diferencias por país y concretamente en el grupo de química (por ser el campo de trabajo en el que nos estamos centrando) vemos que en Suecia, por ejemplo, las diferencias son mínimas, mientras que en Hungría, Australia, Canadá, Finlandia, Noruega, Singapur, Estados Unidos y Polonia las diferencias están en 0.40 o la sobrepasan. Estudios como éste, meramente psicométricos o cuantitativo, no nos dice a que se deben tales diferencias, solamente nos constatan que las hay, por lo que sería preciso realizar un estudio cualitativo con muestras españolas para cubrir este vacío existente.

7.1.6 Conocimiento previo

Tanto en contextos de instrucción como en cualquier contexto en el que se produzcan interacciones verbales entre los sujetos, lo que ya conocen los individuos que interactúan es un factor muy importante. Sin embargo, no debe bastarnos con saber que esta variable influye (Chandran, Treagust y Tobin, 1987), sino también y sobre todo cómo influye. Una buena parte de esta Memoria refleja cómo el contenido previo o las concepciones alternativas con las que los alumnos se acercan al estudio de la ciencia son frecuentemente concepciones desviadas

sobre los fenómenos científicos y persisten aún después de la instrucción (Driver, 1983; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985). A través de estos estudios hemos conseguido identificar un sinfín de concepciones alternativas referentes al concepto de partícula, estados de agregación, cambios de estado de la materia, reacciones químicas y equilibrio químico. Sin embargo, desconocemos (porque no existen trabajos, excepto el de Chandran *et al.*, 1987) qué parte de la varianza total del rendimiento en química explica el conocimiento previo. Tampoco sabemos, por ejemplo, si en el cálculo de relaciones cuantitativas el comprender inadecuadamente la naturaleza de la materia influye y cuánto influye. Pasamos ahora a comentar el único trabajo que hemos encontrado que trata esta variable desde un punto de vista cuantitativo. El modo de evaluar el conocimiento previo consiste en una prueba de elección múltiple, pero no se le pide al sujeto que explique su respuesta, lo que impide que sepamos la comprensión que el alumno tiene de la química. Un ítem típico de esta prueba es el siguiente:

¿Cuál de las siguientes fórmulas no es correcta?

1. $Al_2 CO_3$
2. $CuSO_4$
3. $Mg_3 (PO_4)_2$
4. $Na_2 SO_4$

Como ha podido verse en la tabla 7.2. la varianza explicada por el contenido previo varía desde un 4% en cálculos químicos hasta un 6% en problemas de laboratorio. Estos resultados quizás hubieran variado si el tipo de evaluación hubiera sido otro.

7.2 VARIABLES INSTRUCCIONALES

En este apartado nos dedicaremos a revisar aquellos trabajos que se centran en el análisis de los aspectos instruccionales que podrían mejorar sensiblemente el aprendizaje de la química. Las investigaciones realizadas bajo este planteamiento se pueden resumir del siguiente modo:

- A) Estilos de enseñanza y su relación con el rendimiento de los alumnos.
- B) Instrucción del Pensamiento Formal.
- C) Análisis de los textos que se manejan en el estudio de esta ciencia.

7.2.1 Estilos de enseñanza

Antes de revisar los pocos trabajos realizados en este campo, creemos necesario aclarar qué se entiende por estrategias o estilos de enseñanza y qué tipos de estrategias se han detectado en la enseñanza de la ciencia.

En primer lugar, es necesario distinguir entre los procesos de aprendizaje y las estrategias de enseñanza. Los procesos de aprendizaje hacen referencia a la forma en que los alumnos procesan la información para adquirir nuevas habilidades o conocimientos. Las estrategias o estilos de enseñanza son el conjunto de decisiones respecto a la organización de los materiales y a las actividades que han de realizar los alumnos con el fin de alcanzar un óptimo aprendizaje (Pozo, 1987). En cuanto a los tipos de estrategias, en la enseñanza de las últimas décadas hay varias clases posibles pero aquí trataremos tres: La enseñanza tradicional, la enseñanza por descubrimiento y la enseñanza por exposición. Pasamos ahora brevemente a comentarlas.

La enseñanza tradicional está basada en un aprendizaje reproductivo o memorístico. Se trata de presentar al alumno los materiales de aprendizaje ordenadas de acuerdo con la lógica de la disciplina de la que se trate, e inducir y reforzar una actividad de repaso verbal hasta que el alumno sea capaz de repetir los contenidos que se presentan. En la enseñanza por descubrimiento, de lo que se trata es de que el alumno construya su propio conocimiento. Se considera que para saber ciencia lo más importante es dominar el proceso de investigación, pasando a ser los contenidos de la ciencia secundarios. La labor del profesor consiste en presentar los materiales y orientar el descubrimiento del alumno contestando preguntas puntuales.

La enseñanza expositiva supone una síntesis de las dos anteriores, ya que se caracteriza por exponer explícitamente la estructura conceptual de la disciplina que se enseña para que el alumno relacione esa estructura con las ideas previas que tiene sobre la materia.

Mulopo y Fowler, (1987) tratan de ver cuál es el efecto de la enseñanza tradicional y de la enseñanza por descubrimiento en los resultados del aprendizaje en alumnos de diferente desarrollo intelectual. Estas dos variables eran manipuladas con el fin de estudiar cómo influían en el rendimiento, en la comprensión de la ciencia y en la actitud científica. Las conclusiones a las que se llegó fueron que:

1. El grupo de sujetos formales tenía una mejor comprensión de la ciencia cuando se enseñaba por descubrimiento que cuando se hacía de forma tradicional.
2. El rendimiento de los sujetos Formales era significativamente mejor que el de lo Concretos con independencia del tipo de estrategia.
3. En general, aquellos alumnos que eran enseñados por la estrategia de descubrimiento mostraban una actitud significativamente mejor hacia la química.
4. El grupo que fue enseñado tradicionalmente superó al grupo por descubrimiento en el rendimiento.

Este último dato resulta llamativo. Tal vez se deba al tipo de evaluación del rendimiento que hicieron, es decir, quizás no se evaluó si el conocimiento de los sujetos era significativo o no sino que se hizo una evaluación de tipo tradicional (no se especifica en el artículo). Además, hay que tener en cuenta que eran los propios profesores los que evaluaban si se trataba de enseñanza tradicional o enseñanza por descubrimiento en base a un entrenamiento anterior. Esta evaluación se hizo a partir de un código de observación, pero no hubo observadores externos con los que contrastar los resultados obtenidos.

Menis (1988) en un estudio realizado sobre 240 escuelas de enseñanza secundaria en Canadá, intentó ver qué relación había entre las condiciones de aprendizaje y el rendimiento de los alumnos sobre problemas de proporción en física, química y biología. Las condiciones de aprendizaje de esta investigación se analizaron mediante un cuestionario compuesto por 24 ítems. A estos ítems los alumnos debían responder si las actividades se producían frecuentemente, algunas veces o nunca. A partir de estas respuestas, se hizo un análisis factorial y se obtuvieron siete factores. Se encontró que sólo dos de ellos correlacionaban con el rendimiento en proporción: la enseñanza centrada en el alumno -tener en cuenta sus ideas previas, explicar la relevancia de lo estudiado para la vida diaria - y la enseñanza centrada en el profesor -dando apuntes y poniendo problemas para que los alumnos los resolvieran -. Sin embargo, los ítems que se incluyen en el test son en su mayor parte poco precisos, así, por ejemplo, el primer ítem dice: "*utilizamos libros de texto en las clases*" la frecuencia con que esta actividad se realiza no nos

informa del modo en que estos textos se utilizan, de tal forma que nos resulta imposible conocer el tipo de enseñanza que se está poniendo en juego en esa clase.

7.2.2 Instrucción del pensamiento formal

Al comenzar este capítulo veíamos que autores como Herron, (1975) Shayer y Adey, (1981) habían puesto de manifiesto que el estudio de la química requería pensamiento formal en los alumnos y sin embargo, había muchos datos de investigación que sugerían que muchos estudiantes de bachillerato razonaban aún en el nivel de las operaciones concretas.

Este hecho hizo que el desarrollo o la inducción del pensamiento formal pasara a ser un objetivo educativo (Kuhn, 1979). Goodstein y Howe (1978) realizaron un estudio para ver si la instrucción basada en el uso de modelos concretos permitía a los estudiantes preformales lograr una comprensión cualitativa de una relación cuantitativa, concretamente se trabajó con el concepto de Estequiometría. Se encontró que sólo los estudiantes formales avanzados, 3B, se beneficiaban de este tipo de instrucción, puesto que les permitía visualizar mejor la estructura de los conceptos estudiados.

Cuando intentamos inducir al alumno pensamiento formal, se presentan dos problemas importantes (Kavanaugh Moomaw, 1981):

1. La posibilidad de que adquiera un pseudoconcepto, es decir, que no generalice a otros problemas.
2. La posibilidad de que no sea estable en el tiempo.

Este segundo problema fue con el que se encontró (Wilson, 1987), en un estudio que realizó con sujetos universitarios de Nueva Guinea, en el que hubo una mejora en el rendimiento de los alumnos a corto plazo pero, sin embargo, no se mantuvieron una vez el programa hubo terminado. Por otro lado, tal y como se ha visto en el capítulo primero, algunos de los supuestos sobre los que se basa la teoría piagetiana, con implicaciones curriculares claras (véase el apartado 1.1.3. de esta Memoria) han sido fuertemente criticados, por lo que la inducción del pensamiento formal como un objetivo en sí mismo, independiente del contenido carece de sentido.

7.2.3 Análisis de textos

Hemos incluido aquí este tema porque los textos escritos son una herramienta utilizada en los contextos de instrucción. Sin embargo, la utilidad de los textos ha sido cuestionada (Knutton, 1983) después de analizar 27 libros de química para alumnos de 11 a 16 años. En un estudio anterior, Lunzer y Gardner (1979, citado en Knutton, 1983) encontraron que los textos que se manejaban en ciencias eran demasiado difíciles para la mayoría de los niños a los que iban dirigido. Al mismo tiempo, en una investigación de Harrison (1979, citada en Knutton), se vio que los libros de texto eran más utilizados para los trabajos que los alumnos llevaban para casa, con lo cual no disponían de la ayuda del profesor.

En su estudio Knutton, (1983) intenta evaluar la dificultad del lenguaje escrito mediante fórmulas de legibilidad (*readability*). Estas fórmulas se hallan a partir de la longitud de las frases, la longitud de las palabras y el número de palabras polisilábicas. Con estas fórmulas se hallaría el nivel de edad del alumno para el que sería adecuado ese texto. No obstante, tal como señalan (Slater y Thompson, 1984) las medidas de complejidad lingüística utilizadas por Knutton son en el mejor de los casos bastante simplistas, puesto que asumen que la única variable relevante del lector es la edad y que la complejidad sintáctica está determinada exclusivamente por la longitud de las frases.

La psicología de la comprensión de textos ha sido uno de los campos más estudiados tanto desde el punto de vista teórico como práctico (García Madruga y León, en prensa). Así, entre nosotros se ha trabajado con contenido histórico (León, 1989), y con contenido físico (Aguirre de Cárcer, 1985). Sin embargo, no existen (al menos, nosotros no lo hemos encontrado) nada hecho con contenido químico. Por tanto, dada la importancia que los textos expositivos tienen en un contexto de instrucción parece necesario su estudio en el campo de la química.

La comprensión y el recuerdo de un texto depende tanto de las características del propio texto como de las estrategias y los conocimientos que el sujeto activa en su procesamiento (León, 1989). La representación que el lector *construye* en su lectura depende tanto de la estructura del texto como de los conocimientos previos del sujeto, por lo que se ha intentado mejorar la comprensión desde los dos frentes, por

un lado desde el propio texto y por el otro, mejorando las estrategias a través de las cuales el sujeto organiza la nueva información extraída del texto y la relaciona con la que ya posee.

Para el primer propósito, esto es, la mejora inducida desde el texto ha habido estudios procedentes de dos enfoques distintos. Un enfoque procedente de la Psicología educativa, preocupada por la repercusión que sobre el material escrito ejercen una gama de procedimientos instruccionales tales como los organizadores previos, títulos, sumarios, preguntas y objetivos.

El otro enfoque, proveniente de la Psicología y la Psicología Cognitiva, se ha centrado en la influencia en la comprensión y memoria del lector de variables intratextos como por ejemplo, la sintaxis y el léxico, la organización o secuencia del discurso y señalizaciones.

El segundo propósito o mejoramiento de aquellas estrategias que pone en juego el sujeto supone, en primer lugar, analizar la capacidad que los sujetos poseen en la adquisición y uso de la información y si esa capacidad puede ser mejorada con el entrenamiento en estrategias que permitan procesar la información de manera adecuada. Estas estrategias varían en la manera en que están diseñadas dependiendo de si están dirigidas a textos específicos —estrategias dependientes del contenido— o programas independientes del contenido que son más generales y aplicables a cualquier texto. Por tanto, al elaborar un texto habrá que tener en cuenta tanto la organización secuencial del discurso como procedimientos que ayuden al alumno a una mejor comprensión del texto.

Hemos pretendido en esta exposición presentar al lector una visión general sobre este tema. No nos cabe duda de que este es un área de estudio que puede ser muy fructífero en la enseñanza de las ciencias y que precisa de una mayor investigación.

7.3 CONCLUSIONES

De un modo resumido, a partir de los trabajos que hemos revisado, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. La mayor parte de los estudios que relacionan ciertas variables con el rendimiento son de carácter psicométrico o cuantitativo.
2. El pensamiento formal es necesario para la comprensión y aplicación de conceptos químicos pero no suficiente ya que en primer

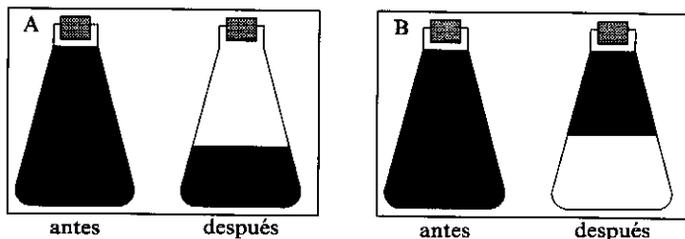
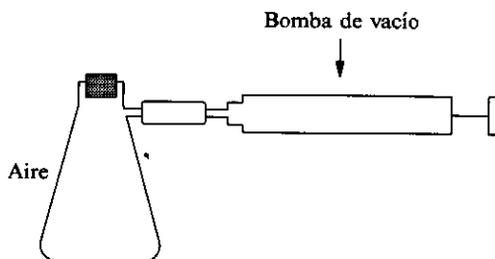
lugar, no parece ser tan formal como se creía sino que depende de los contenidos o dominios de conocimiento en los que se trabaje, además de ciertos factores que están influyendo en la actuación del sujeto y que veremos a continuación.

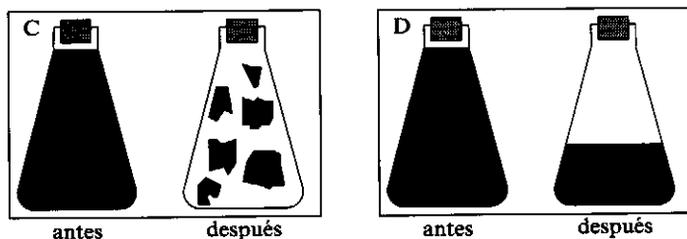
3. Las investigaciones que existen en torno a la influencia o no influencia de la capacidad mental son contradictorias. No obstante, parece que las diferencias pueden deberse a un mayor automatismo de las operaciones en los sujetos de mayor edad.
4. Los resultados sobre Dependencia-Independencia de Campo son también discrepantes, debido quizás, a la variabilidad de las muestras respecto a este constructo y a la disparidad de las muestras de unos trabajos a otros, provocando dificultades en la interpretación de los resultados.
5. Con respecto al sexo de los sujetos, los chicos tienen mejores puntuaciones que las chicas. Sin embargo, se desconoce cuáles son los motivos de esas diferencias.
6. Conocer cuáles son los conocimientos previos de los sujetos es necesario si perseguimos, a partir de su detección, un aprendizaje significativo de la química por parte de los alumnos, pero no parece que sea suficiente.
7. En cuanto a las variables instruccionales, en primer lugar, la eficacia de las estrategias de enseñanza depende fundamentalmente de los objetivos de aprendizaje que se marque el profesor, es decir, de si su objetivo es un aprendizaje significativo o un aprendizaje puramente memorístico.
8. En segundo lugar y como hemos visto hasta ahora, la actuación formal de un alumno en un dominio de conocimiento dado es función de determinadas variables tanto del sujeto como de la tarea, por lo que la inducción de pensamiento formal no es posible sin tener en cuenta estos factores.
9. En tercer y último lugar, los estudios existentes sobre comprensión de textos escritos acentúan la importancia de la organización jerárquica del texto así como la de los conocimientos y estrategias que el sujeto activa. Sin embargo, este tipo de estudios son escasos o nulos en química.

APENDICE DE TAREAS

TAREA 1

Supón que tienes unas gafas mágicas a través de las cuales puedes ver el aire que está contenido en el matraz. Dibuja lo que verías antes y después de que la bomba de vacío extraiga aire. (Tomado de Nussbaum, 1985).

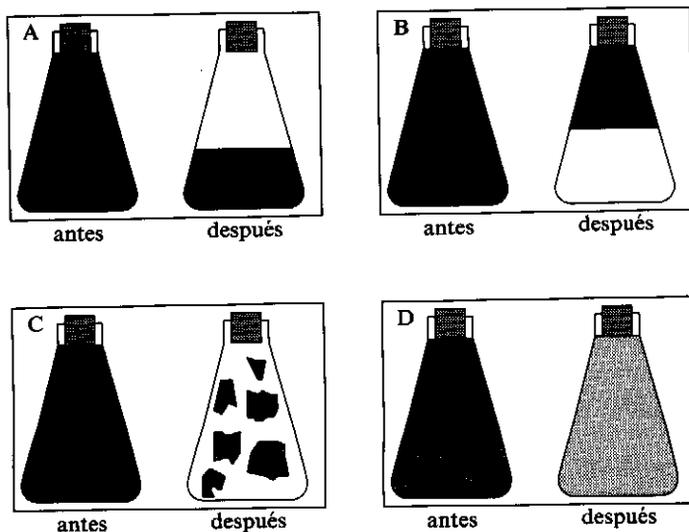




El objetivo de esta tarea es averiguar cuál es la concepción de la estructura de la materia de los sujetos de la muestra: continua o discontinua.

TAREA 2

Aquí tienes algunos dibujos realizados por alumnos de otro colegio antes y después de extraer aire del matraz. ¿Qué dibujo crees que representa mejor el aire del interior en cada caso? (Tomado de Nussbaum, 1985).



Esta tarea ha sido utilizada para investigar si los alumnos reconocen la estructura de la materia como algo discontinuo.

TAREA 3

Explica qué hay entre los puntitos de los dibujos. (tomada de Nussbaum, 1985).

Esta tarea pretendía comprobar si los alumnos pensaban que, entre las partículas hay vacío.

TAREA 4

Explica por qué no se caen todas esas partículas al fondo del matraz, quedando sencillamente amontonadas allí. ¿Qué las sostiene?. Esta tarea comprobaba la idea del movimiento intrínseco de las partículas. (Tomada de Nussbaum, 1985).

TAREA 5

Tenemos dos líquidos incoloros en dos frascos cerrados. Abrimos el primero (amoníaco concentrado) y colocamos en la boca del mismo una tira de papel indicador de color naranja, que se vuelve de color azul. Se tapa el primer frasco y se abre el segundo (ácido clorhídrico concentrado), en el que se coloca la tira azul, que en este caso, se vuelve roja.

¿Qué provocó que la tira de papel se volviese azul sobre el primer frasco y roja sobre el segundo?. Haz un esquema. ¿En qué aspecto fundamental son diferentes los dos líquidos incoloros?. (Tomado de Nussbaum, 1985).

Esta tarea pretendía comprobar la idea de que los vapores y los líquidos están formados por partículas.

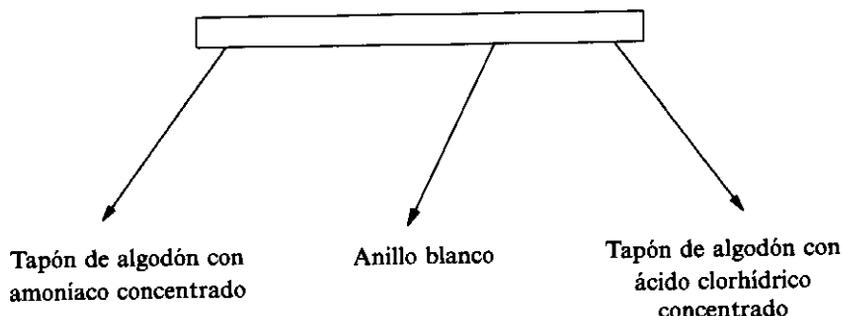
TAREA 6

¿Cómo llega la sustancia desde el líquido al papel?. (Se refiere al experimento de la tarea anterior). (Tomada de Nussbaum, 1985).

Esta tarea comprobaba la idea del movimiento intrínseco de las partículas.



TAREA 7



¿Qué es la sustancia blanca y cómo se ha formado?

Esta tarea comprobaba la idea de que un cambio químico consiste en una interacción entre partículas.

TAREA 9

Después de muchos experimentos, los científicos han llegado a las siguientes conclusiones:

- Todas las cosas están hechas de pequeñas partículas.
- Estas partículas se mueven en todas las direcciones.
- La temperatura afecta a la velocidad de movimiento de las partículas.
- Las partículas ejercen fuerzas unas contra otras.

Empleando estas ideas, responde a la siguiente cuestión. Hinchamos un balón de fútbol durante el día. Por la noche, cuando la temperatura desciende, el balón se deshincha. ¿Por qué? (El balón no tiene ningún agujero, y, por tanto, no pierde aire). (Tomado de Brook, Briggs y Bell, 1983).

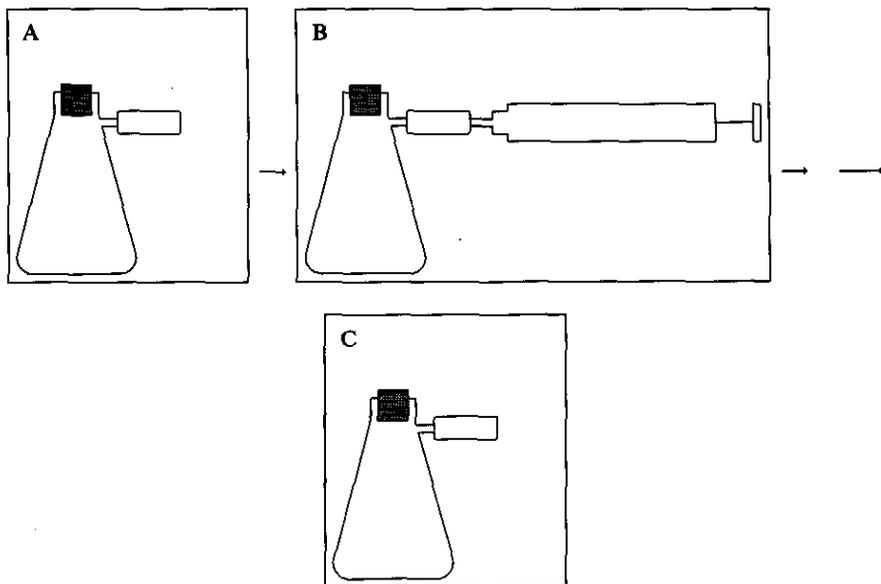
TAREA 10

Tras muchos experimentos los científicos han llegado a la conclusión de que todas las sustancias están hechas de partículas. Teniendo esto en cuenta, trata de explicar qué les ocurrirá a las partículas de un bloque de hielo que sacamos de un congelador, pasando su temperatura de -10 C a -1 C . Haz un dibujo que explique lo que piensas. (Tomado de Brook, Briggs y Bell, 1983).

TAREA 11: Algunos Items del TAP (Test about Particles) de Novick y Nussbaum (1981)

Lee los dibujos A, B, C, que aparecen a continuación. Como ya debes saber, los gases se representan a menudo, como sustancias formadas por partículas. En los dibujos, dichas partículas, se representan por medio de pequeños puntos.

- A. Aquí aparece un matraz que contiene aire.
- B. Conectamos el matraz a una bomba de vacío, de tal modo, que se extrae parte del aire contenido en el matraz.
- C. Aquí aparece el matraz cerrado, de nuevo, una vez que se ha extraído parte del aire.



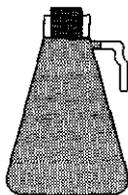
Tarea 11a.

Empleando puntos, para representar las partículas, dibuja el aire contenido en el matraz en el dibujo A, antes de que se conectara la bomba de vacío.

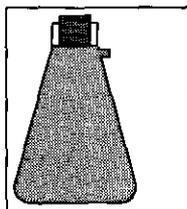
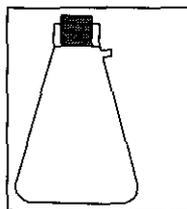
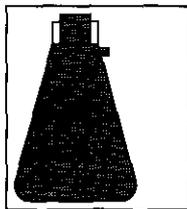
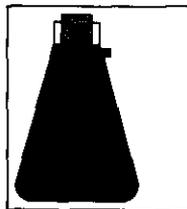
Tarea 11b.

Utilizando puntitos para representar las partículas, dibuja el aire que queda en el matraz en el dibujo C, una vez que se ha extraído parte del aire con la bomba de vacío.

Un matraz que contiene aire, se conecta a un globo, tal como puedes ver en el dibujo que aparece ,más abajo. Una vez que se ha hecho esto, se calienta el matraz y se observa que el globo se hincha.

**Tarea 11c.**

Marca con una cruz el cuadrado correspondiente al dibujo que tú creas que describe mejor cómo quedarán las partículas del aire del matraz, una vez que el globo ha comenzado a inflarse.

**A****B****C****D****Tarea 11d.**

Explica brevemente, cómo afecta el calor de las llamas que calientan el matraz, a las partículas del aire contenido en el mismo.

TAREA 12: Cuestionario diseñado por Furio para conocer las ideas de los alumnos sobre los gases, (1983).

Tarea 12a. (Item 1)

El aire, el humo, etc, son ejemplos de gases. ¿Crees que pesan?

- a) Sí b) No c) No lo sé

Tarea 12b. (Item 2)

Supongamos que calentamos agua en una "olla" cerrada (donde no puede escaparse nada), hasta que no quede nada de líquido. ¿Cuándo crees que pesará la olla?

- a) Cuando contiene líquido.
 b) Cuando no quede líquido.
 c) Pesarán igual.
 d) No lo sé.

Tarea 12c. (Item 3)

Supongamos que calentamos en un cazo tapado, un poco de agua hasta que se convierta toda en vapor (gas). ¿Cuál crees que será el volumen ocupado por todo el vapor?

- a) El mismo que el del líquido.



- b) El mismo, pero ocupado en la parte alta.



c) Todo el recipiente.



d) No lo sé.



Volumen del líquido

Tarea 12d.

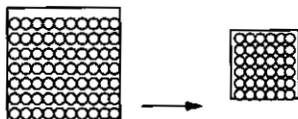
Consideras que los gases, están formados por trozos continuos (como por ejemplo, un ovillo de lana) o piensas que los gases que los forman muchos trozos pequeños (como por ejemplo, la arena).

- a) Algo continuo.
- b) Trozos pequeños.
- c) No lo sé.

Tarea 12e.

Una de las propiedades más conocidas de los gases es su compresión (que consiste en poder reducir el volumen que ocupa al presionar sobre él, como se puede comprobar con una jeringuilla). ¿Cuál de estas situaciones crees que se produce?

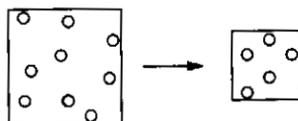
a) Las partículas existentes reducen su tamaño.



b) Los gases son como esponjas (todo continuo) que al apretar, se comprimen.



c) Las partículas que lo forman dejan espacios libres “huecos” que al apretar, se reducen.



d) No lo sé.

Tarea 12f.

Tú sabes que los gases se mueven, pues en una habitación al destapar un perfume, se huele en toda ella. Ahora, ¿cómo crees que se mueven los gases?

a) Como si fuera un muelle.



b) Todas las partículas se mueven conjuntamente, pasando cada vez, por un sitio distinto de la habitación.



c) Cada partícula se mueve constantemente hacia cualquier dirección.



d) No lo sé.

TAREA 13

Después de muchos experimentos, los científicos han llegado a las siguientes conclusiones:

- Todas las cosas están hechas de pequeñas partículas.
- Estas partículas se mueven en todas las direcciones.
- La temperatura afecta a la velocidad de movimiento de las partículas.
- Las partículas ejercen fuerzas unas contra otras.

Empleando estas ideas, responde a la siguiente cuestión. Hinchemos un balón de fútbol durante el día. Por la noche, cuando la temperatura desciende, el balón se deshinch. ¿Por qué? (El balón no tiene ningún agujero, y, por tanto, no pierde aire). (Tomado de Brook, Briggs y Bell, 1983).

TAREA 14

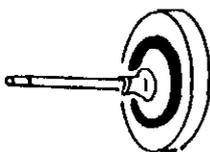
Tras muchos experimentos los científicos han llegado a la conclusión de que todas las sustancias están hechas de partículas. Teniendo esto en cuenta, trata de explicar qué les ocurrirá a las partículas de un bloque de hielo que sacamos de un congelador, pasando su temperatura de -10 C a -1 C . Haz un dibujo que explique lo que piensas. (Tomado de Brook, Briggs y Bell, 1983).

TAREA 15

– ¿Has visto alguna vez una ventosa?

Sí, en el colegio Sí, pero no en el colegio No

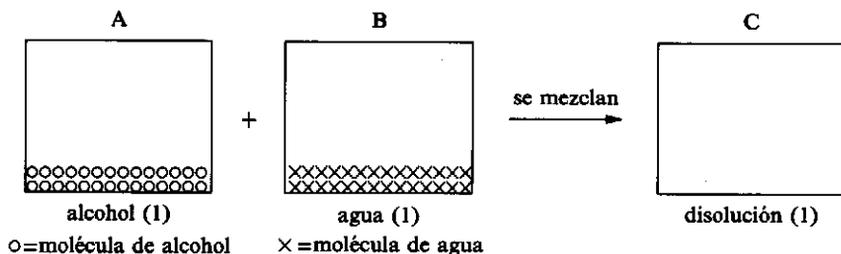
(En la cocina, las ventosas se utilizan para sujetar ganchos en los que podemos colgar cosas. También se emplean, habitualmente, las ventosas, en las flechas que se tiran a las dianas).



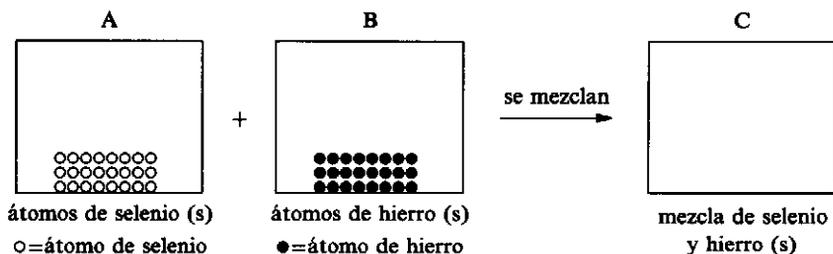
Cuando pegas una ventosa en una pared lisa, se queda pegada.
¿Por qué crees que se queda pegada?

1. Hay aire alrededor de la ventosa, pero no hay aire entre la pared y la ventosa.
2. La goma se pega.
3. Hay aire alrededor de la ventosa, hay mucho aire entre la pared y la ventosa.
4. No hay aire alrededor de la ventosa, pero sí lo hay entre la pared y la ventosa.
5. No lo sé.
6. Otras ideas.

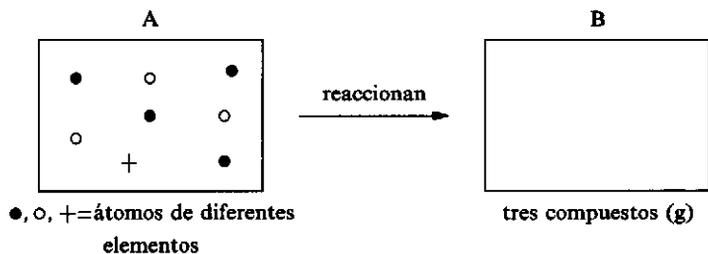
16b



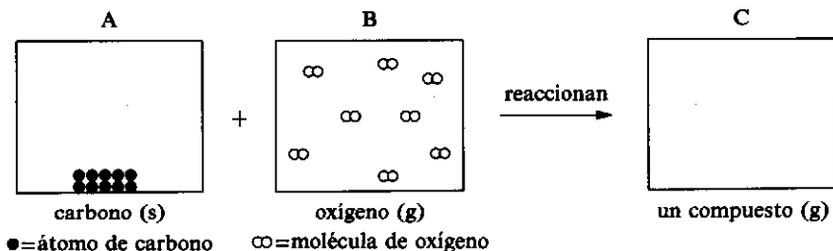
16c



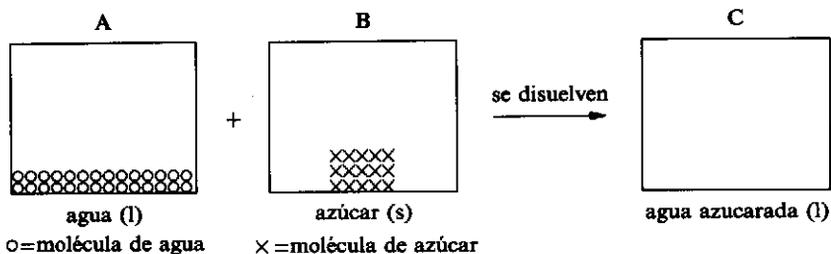
16d



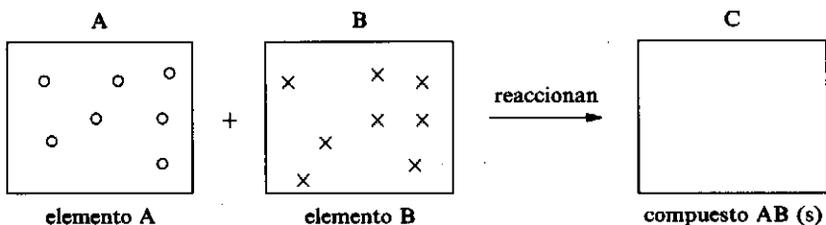
16e



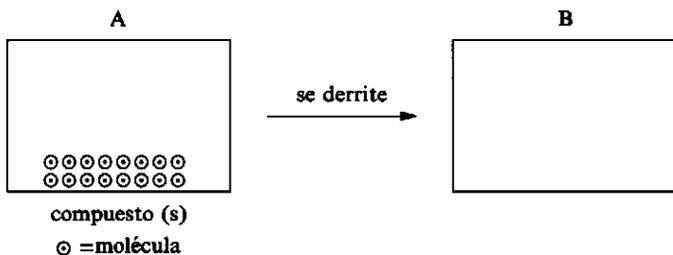
16f



16g



16h



TAREA 17

Lee la siguiente historia y contesta después las preguntas:

Arturo, decidió una tarde ir a la Casa de Campo para dar un vuelta y respirar un poco de aire puro. Al pensar qué transporte utilizaría para llegar hasta allí, se le ocurrió que podría ir en teleférico. Se encaminó, pues, hacia

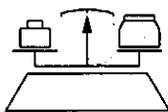
la estación, que quedaba muy cerca de su casa. Por el camino, compró un paquete de cigarrillos. Llegó a la estación y subió a una de las cabinas.

A los 10 minutos, el teleférico sufrió una avería y se detuvo. Arturo, al ver que pasaban los minutos y que no comenzaba a funcionar, encendió pitillo tras pitillo; de tal modo, que, cuando por fin el teleférico reinició su marcha, la cajetilla que había comprado estaba vacía, y la cabina, llena de humo.

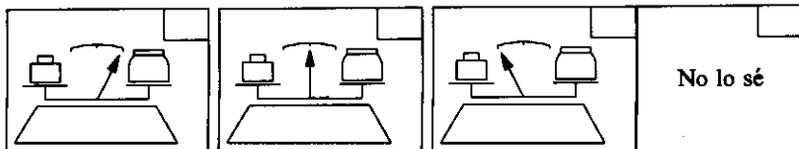
¿Pesa lo mismo la cabina cuando Arturo no había comenzado a fumar y la cajetilla estaba llena de cigarrillos que, cuando acabó de fumársela y la cabina estaba llena de humo? ¿Por qué?

TAREA 18

Nicole lleva al jardín la balanza y un frasco cerrado, lleno únicamente de aire. Pone el frasco en la balanza, cuya aguja se mueve incluso con el movimiento de muy pequeñas masas. Observa la posición de la aguja:



Nicole deja su equipo al sol durante varias horas y vuelve a observar la posición de la aguja. Escoge el dibujo que muestre la posición de la aguja en ese momento. (Tomado de Seré, 1985).



TAREA 19

El amoníaco y el sulfamán que venden en la droguería pueden considerarse disoluciones en agua de los gases amoníaco (NH_3) y cloruro de hidrógeno (HCl), respectivamente. Cuando destapas botellas que contienen estos reactivos, se desprenden dichos gases, hecho que puedes notar inmediatamente por el olor.

Cuando acercas dos frascos destapados se producen unos humos blancos debido a la formación de cloruro de amonio, sustancia que resulta de la combinación de los gases amoníaco y cloruro de hidrógeno.



Si entre los dos frascos existe aire, ¿cómo explicas que los dos gases puedan encontrarse y reaccionar? (Tomado de Llorens, 1988).

TAREA 20

Un alumno está estudiando las propiedades de un elemento desconocido, "X". Estos son los resultados que obtiene en sus experimentos:

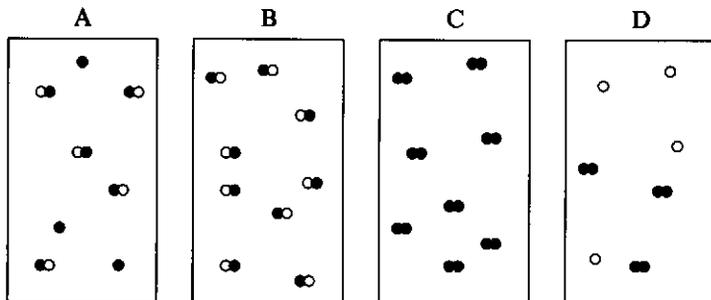
- A temperatura ambiente, "X", es un sólido blanco.
- Funde a los 200°C .
- Se disuelve en agua, dando una solución incolora.
- Cuando funde, aparece más de un producto por electrolisis.
- Cuando se calienta en presencia de aire, forma un óxido blanco.

Como resultado de estas pruebas, el alumno concluye que "X" no es un elemento. ¿Apoyan los datos esta conclusión? ¿Por qué?

(Tarea tomada de Holding, 1985).

TAREA 21

Estos diagramas representan gases. Los símbolos “●” y “○” representan átomos de diferentes elementos.



- ¿Qué diagrama A, B, C, D, representa una mezcla de dos elementos?
- ¿Cuál representa un compuesto?
- ¿Cuál, sólo un elemento?

(Tarea tomada de Holding, 1985).

TAREA 22

Cuando se calientan 2 gr. de zinc y un gr. de azufre juntos, no queda prácticamente nada de zinc ni de azufre, una vez que se ha formado el compuesto sulfuro de zinc.

¿Qué ocurriría si 2 gr. de zinc, se calientan con 2 gr. de azufre? Señala sólo uno de las respuestas siguientes:

- El sulfuro de zinc, contienen dos veces más azufre que cuando se calientan 2 gr. de zinc y 1 gr. de azufre.
- Se formará como mucho el doble de sulfuro de zinc.

- c) Se formará la misma cantidad de sulfuro de zinc y quedará algo de azufre sin reaccionar.
- d) Se formará la misma cantidad de sulfuro de zinc y quedará algo de zinc sin reaccionar.

Explica tu elección.

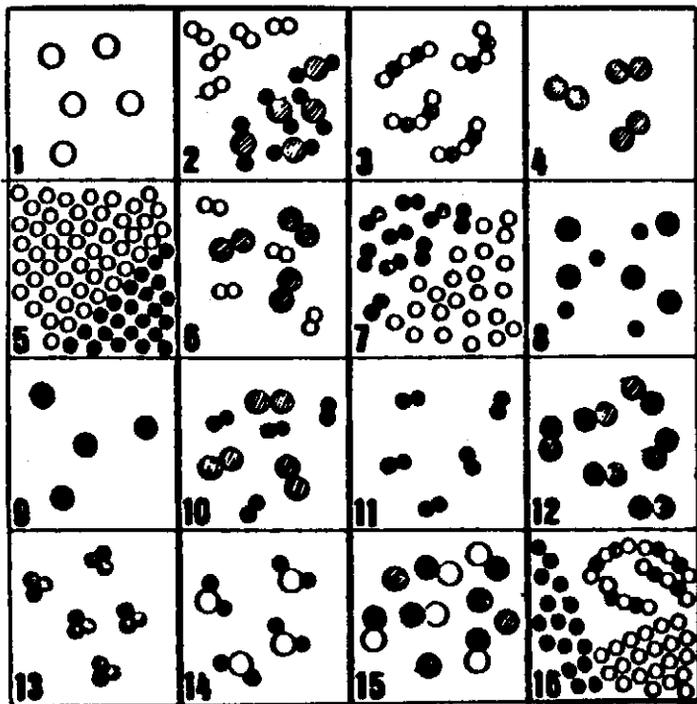
(Tarea tomada de Holding, 1985).

TAREA 23

Si observas a tu alrededor verás muchos tipos diferentes de materia. Según su mayor o menor complejidad, podemos clasificarla del modo siguiente:

- a) Materiales tales como la arena de la playa, agua mineral con gas, una roca como el granito, etc.
- b) Materiales como el agua del mar, el aire, una disolución de azúcar en agua, una aleación como el bronce, etc.
- c) Compuestos químicos como el agua, el amoníaco, el dióxido de carbono, el óxido de hierro, etc.
- d) Elementos químicos como el hidrógeno, el oxígeno, nitrógeno, carbono, hierro, etc.

También sabes que la materia está formada por átomos de distintos tipos. Vamos a representarlos mediante pequeños círculos de diferentes tamaños y tonalidades. A continuación se representan distintos tipos de materia. Señala para cada uno de los dibujos cuál (A, B, C, D) le corresponde. (Tomado de Llorens, 1988).



TAREA 24

Representa por medio de dibujos, las siguientes fórmulas:

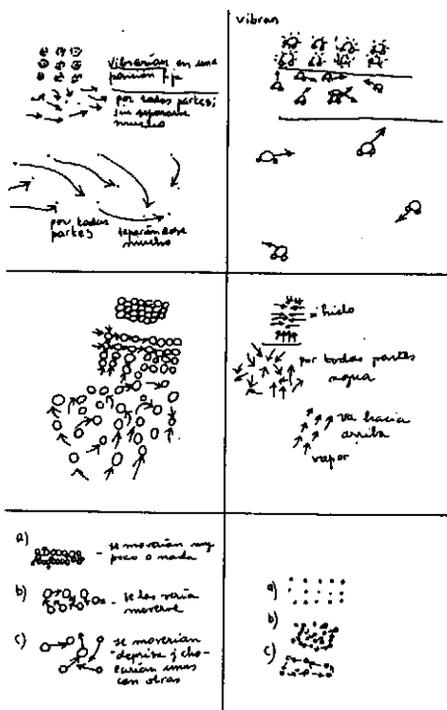


Llorens (en prensa), pasa esta tarea a 275 alumnos de 15 años.

TAREA 25

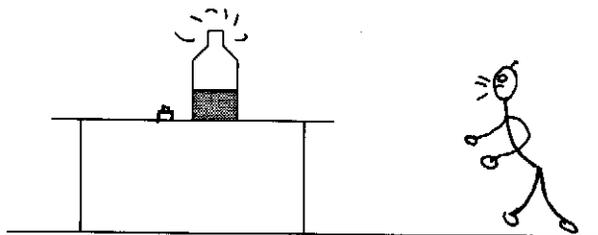
Haz un dibujo en el que aparezca la forma, disposición y distribución en el espacio de los átomos o moléculas de un sólido, un líquido y un gas. (Tarea tomada de Driver, 1985).

A continuación, reproducimos algunos de los dibujos realizados por los alumnos, que se recogen en el trabajo citado.



TAREA 26

Cuando destapas un frasco de perfume, al cabo de un cierto tiempo se nota su aromas por los alrededores.

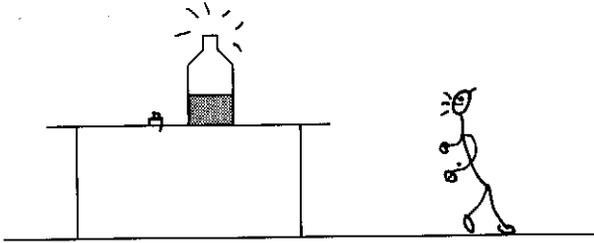


- a) ¿Por qué ocurre este fenómeno?
- b) ¿Cómo llega el perfume hasta tu sentido del olfato?
- c) Si entre el frasco y tú hay aire, ¿cómo es que este deja pasar el perfume?

(Tomado de Llorens, 1988).

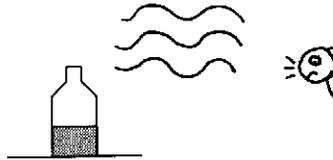
TAREA 27

Cuando destapas un frasco de perfume al cabo de cierto tiempo se nota su aroma a cierta distancia.

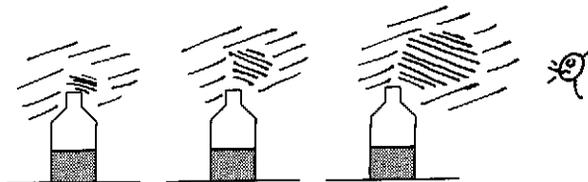


¿Cómo crees que se mueven los vapores del perfume en el aire de la habitación?

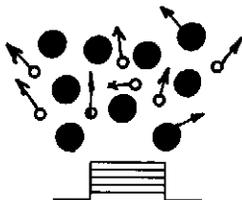
- a) Como las ondas que se producen al echar una piedra en el estanque.



- b) El aire se aparta por ser menos denso, dejando paso al perfume.



- c) Cada partícula se mueve constantemente hacia cualquier dirección, de modo que las partículas de perfume pueden difundirse entre las del aire.

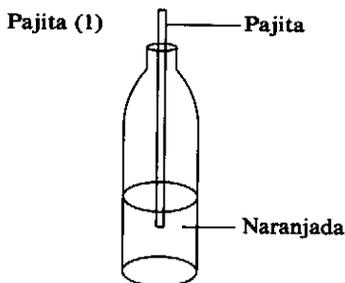


- d) De ninguno de los modos expresados en las respuestas anteriores.
e) No lo sé.

(Tomado de Llorens, 1988).

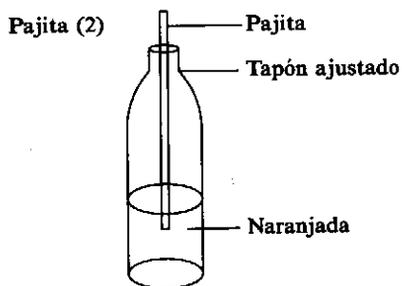
TAREA 28

28a.



Emplea la noción de presión atmosférica para explicar cómo puedes hacer subir naranjada a través de la pajita.

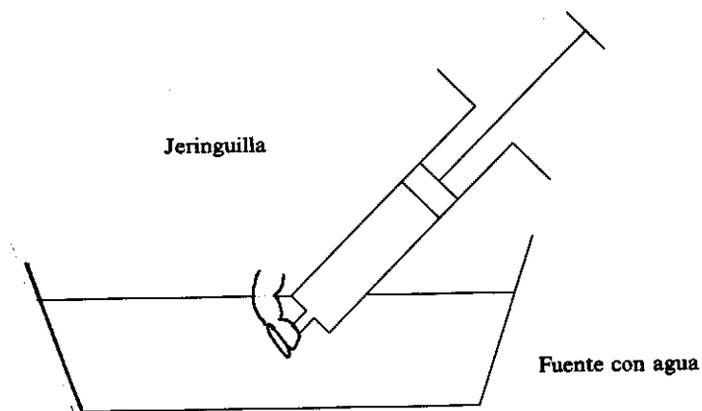
28b.



¿Por qué no puedes sorber toda la naranjada?
 (Tomado de Seré, 1985)

TAREA 29

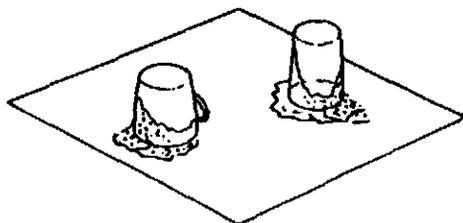
29a.



¿Qué hace que entre el agua?

29b.

Lavado



¿Por qué es tan difícil levantar el vaso tras unos pocos minutos?
(Tomado de Seré, 1985).

Tanto estas tareas como la 28a y 28b investigan las ideas del alumno sobre el vacío.

TAREA 30

Se presenta a los alumnos una tarjeta en la que aparecen dibujados un gran bloque de hielo y un cubito. Se les formulan entonces las siguientes cuestiones:

- ¿Qué ocurrirá con el bloque de hielo y el cubito si se dejan ambos sobre la mesa?
- ¿Cuál de los dos se derretirá antes?
- ¿Qué temperatura marcará el termómetro en cada caso?

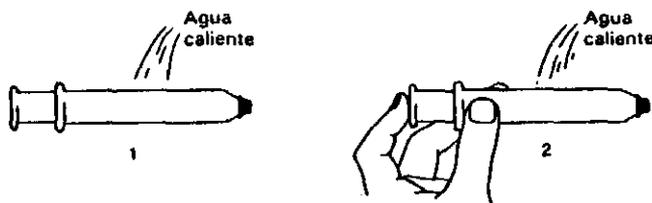
(Tomado de Appleton, 1984).

TAREA 31**Tarea 31a.**

En esta tarea, descrita en la figura que recogemos más abajo, se preguntó a los niños, si se conservaba la cantidad de aire en ambos

experimentos (1 y 2). Se encontró, que, algunos alumnos, confundían la cantidad de aire con el volumen, por lo que pensaban que en el experimento 1 habría más aire, después de echar el agua caliente, puesto que “el aire se expande”.

Tarea tomada de Llorens, (1988).

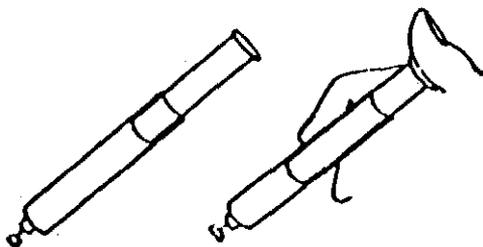


Se rocía con algo de agua caliente el exterior de una jeringuilla cerrada:

- (1) con el émbolo libre;
- (2) manteniendo el émbolo en la misma posición.

Tarea 31b.

Si tenemos una jeringa de plástico tapada con 5 cm. de aire y desplazamos el émbolo tal como se observa en la figura, podemos hacer que el aire ocupe menos volumen

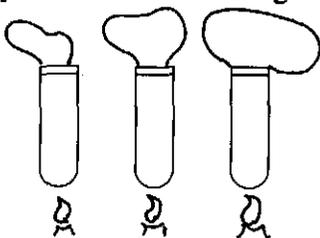


- a) ¿Sigue habiendo la misma cantidad de aire? ¿Por qué?
- b) ¿Variará el peso del aire contenido dentro de la jeringa? ¿Por qué?
- c) ¿A qué otro fenómeno conocido compararías éste?
- d) Si lo representamos así:



TAREA 32**32a.**

Cuando un objeto se calienta aumenta de tamaño. A este fenómeno lo llamamos dilatación. Es lo que ocurre, por ejemplo, cuando calentamos aire que hay en el interior de un globo y el tubo de ensayo.

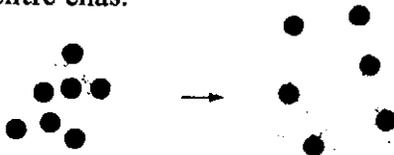


¿Cuál de los siguientes dibujos representa mejor este fenómeno?

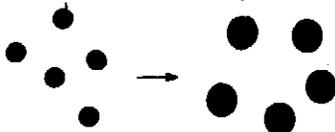
- a) Al calentar, aumenta el número de partículas.



- b) Al calentar se agitan más intensamente las partículas y aumenta la distancia entre ellas.



- c) Al calentar, aumenta el tamaño de las partículas.



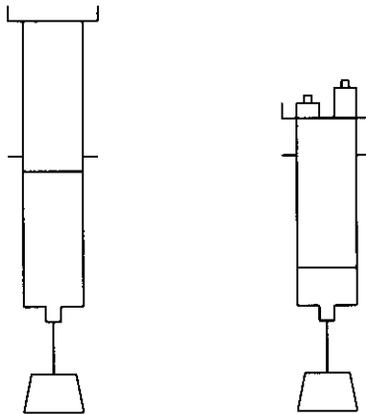
- d) Ninguno de los anteriores

- e) No lo sé.

(Tomado de L.Lorens, 1988).

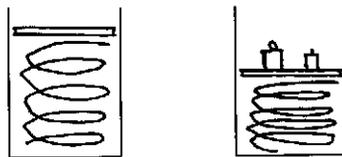
32b.

Una de las propiedades más conocidas de los gases es su compresibilidad, que consiste en poder reducir su volumen al ejercer una presión sobre ellos, tal como se puede comprobar fácilmente con una jeringa cuya aguja esté obturada con un tapón de goma.

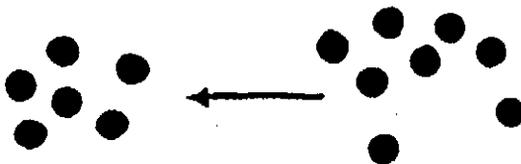


¿Cuál de los siguientes dibujos representa mejor este fenómeno?

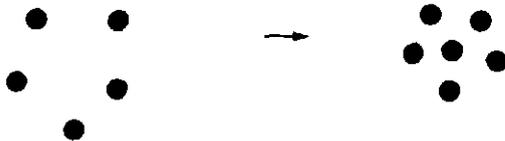
- a) Los gases se comportan como un muelle que al apretarlo se comprime.



- b) Disminuye el número de partículas que hay en el gas.



- c) Disminuye la distancia que hay entre las partículas que forman el gas.



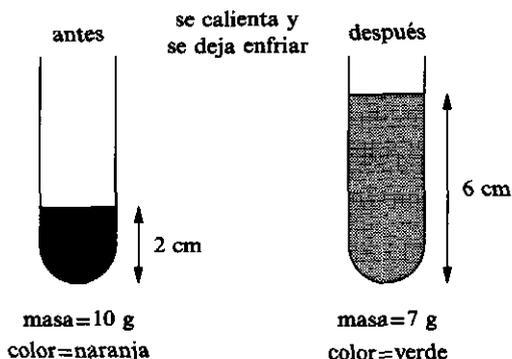
- d) Ninguno de los anteriores.
e) No lo sé.

(Tomado de Llorens, 1988).

TAREA 33

Un niño echa un líquido naranja en un tubo de ensayo, cuya masa ha medido previamente, y señala la altura que alcanza el líquido dentro del tubo. Lo calienta y lo deja enfriar.

Las diferencias entre lo que ha observado antes y después de calentar el tubo, quedan reflejadas en el esquema siguiente:



El niño piensa que ha habido cambio químico. ¿Apoyan los datos esta conclusión?. Razona tu respuesta.

(Tarea tomada de Holding, 1985).

TAREA 34

34a.

En un frasco se introduce una cierta cantidad de hielo. Se cierra el frasco y al cabo de un tiempo se observa:

- Que las paredes exteriores del frasco, están húmedas.
- Que ha disminuido el volumen inicial de hielo que, ahora, es agua.

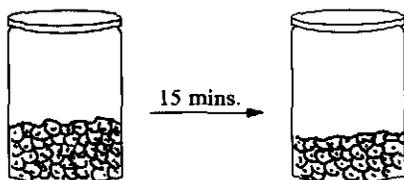
Explica por qué crees que ocurre tanto "a" .

34b.

¿De dónde ha salido el agua que aparece en el exterior de la jarra?

- El agua procedente de la fusión del hielo, atraviesa el cristal.
- El frío origina oxígeno e hidrógeno en el aire, que reaccionan y forman agua.
- El agua que está en el aire, se "pega" al cristal frío.
- El frío atraviesa el cristal y se convierte en agua.

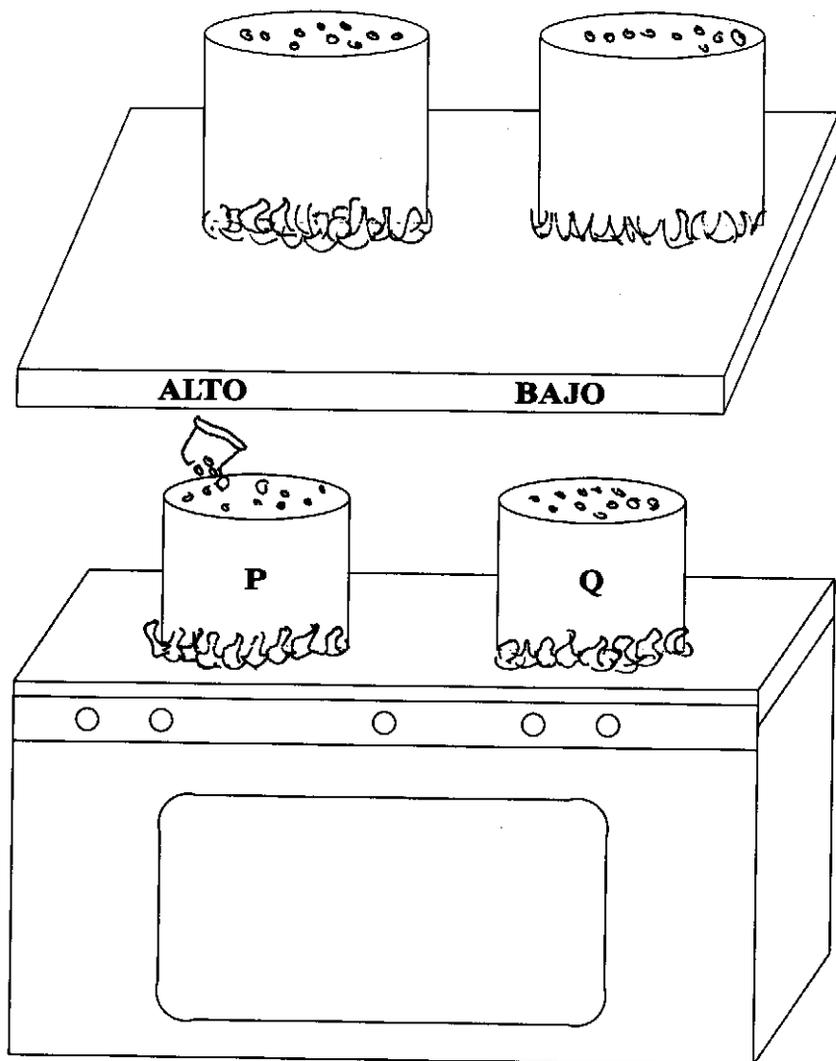
Ambas tareas han sido tomadas de Osborne y Cosgrove, 1983.



TAREA 35

Se llenan de agua dos cacerolas con idéntica cantidad de agua, y se ponen al fuego, ambas al máximo. En una de ellas, P, se echa un paquete de guisantes congelados, mientras que en la otra, Q, se echa, también el paquete de guisantes, pero, que en este caso, han sido descongelados previamente. El agua de P, tarda más en empezar a hervir. ¿Por qué crees que ocurre esto? Explica tus razones.

(Tomada de Brook, Briggs, Bell y Driver, 1984)



TAREA 36

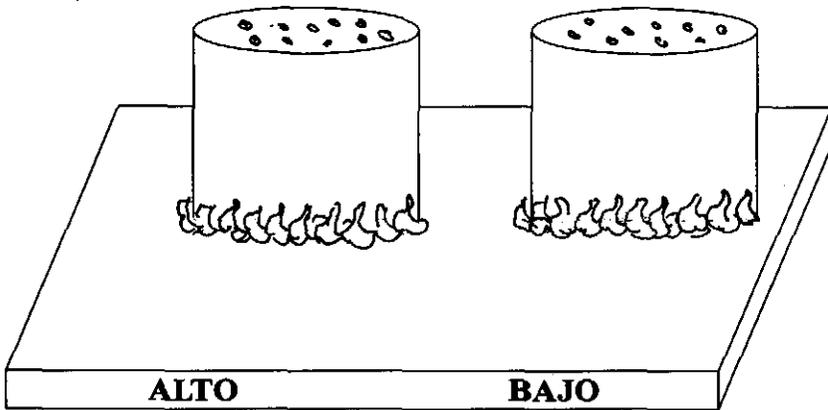
Un cocinero pone dos cacerolas con patatas y agua, al fuego, para cocer las patatas, y poder hacer así, un exquisito puré.

Cuando ambas están hirviendo, baja el mando del gas de una de ellas, al mínimo, y el de la otra, al máximo.

El cocinero piensa que las patatas se cocerán antes en la cacerola que puso al máximo, mientras que otro cocinero, amigo suyo, cree que tardarán lo mismo en cocerse en los dos casos.

¿Quién tiene razón: el cocinero o su amigo? ¿Por qué?

(Tomada de Brook, Briggs, Bell y Driver, 1984)



TAREA 37

La gente que vive en países cálidos, almacena con frecuencia, el agua, en cacharros de arcilla o barro. Estos materiales son porosos, lo que significa que tienen pequeños agujeritos por los que el agua puede pasar. El agua que se almacena en este tipo de recipientes, está más fresca que la que se almacena en otro tipo de cacharros. ¿Por qué estos recipientes mantienen el agua más fresca?. Explicalo.

(Tarea tomada de Brook, Briggs, Bell y Driver, 1984).

TAREA 38

Explica por qué la temperatura de un bloque de hielo permanece constante hasta que se derrite completamente. Realiza algún dibujo que refleje lo que piensas.

(Tarea tomada de Brook, Briggs, Bell y Driver, 1984).

TAREA 39

Una mañana de invierno, Sally se dió cuenta de que todo estaba helado. Al coger su bicicleta, notó que la parte de metal del manillar, estaba mucho más fría que la parte de plástico donde ella, suele colocar las manos. ¿Por qué?

(Tarea tomada de Brook, Briggs, Bell y Driver, 1985).

TAREA 40

Andrés ha dejado 3 cucharas: una de metal, otra de madera, y otra de plástico; sucias, dentro de un ajarra de agua caliente. Después de 5 minutos, al ir a fregarlas, se da cuenta de que el mango de la cuchara de metal está más caliente que el de la cuchara de madera. ¿Por qué?

(Tarea tomada de Brook, Briggs, Bell, y Driver, 1984).

TAREA 41

- a) ¿Cuál de las siguientes sustancias A, B, C, D, o E, podría ser un elemento?. Señala sólo una de las siguientes respuestas:
- (a) Un líquido azul que puede separarse, al menos en dos componentes, por cromatografía.
 - (b) Cristales sólidos que, al ser calentados, desprenden vapor de agua y un residuo sólido.
 - (c) Un sólido negro que puede quemarse completamente en presencia de oxígeno, para formar un único producto.
 - (d) Un líquido incoloro, que arde en presencia de oxígeno, para formar dióxido de carbono y agua.
 - (e) Un líquido oscuro, que puede dividirse en fracciones por destilación.
- b) Explica tu respuesta.

(Tarea tomada de Holding, 1985).

TAREA 42

Pedro pone un cacerola con agua, a calentar, y observa, que, cuando el agua está a punto de hervir, aparecen muchas burbujas. ¿De qué están hechas estas burbujas?

- a) De aire.
- b) De vapor.
- c) De calor.
- d) De oxígeno y/o hidrógeno.

(Tarea tomada de Osborne y Cosgrove, 1983).

TAREA 43

Observa el dibujo.



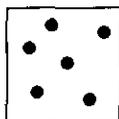
¿Por qué se seca el plato mojado que acabamos de fregar y hemos puesto a escurrir?

(Tarea tomada de Osborne y Cosgrove, 1983).

TAREA 44

44a.

Probablemente habrás oído decir que la materia está formada por pequeñas partículas tales como los átomos y las moléculas. Si representamos todas las partículas de los distintos gases que componen una pequeña muestra de aire, así:



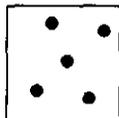
¿Qué crees que hay entre estas partículas?

- a) Más aire.
- b) Otros gases.
- c) Nada.
- d) Una sustancia muy ligera que lo rellena todo.
- e) No lo sé.

(Tomado de Llorens, 1988)

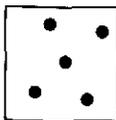
44b.

Probablemente habrás oído hablar de que la materia está formada por pequeñas partículas como los átomos y las moléculas. Si representamos el aire contenido en una vasija así:



¿Qué crees que existe en los espacios huecos que hay entre las partículas?

¿Por qué estas partículas no se caen por el propio peso, ocupando así el mínimo espacio posible?



(Tomado de Llorens, en prensa).

TAREA 45

Cuestionario tomado de Llorens (en prensa); que investiga la representación de los alumnos de las fórmulas químicas.

Cuestionario aplicado:

- 1) Una molécula de un elemento dado está formada por tres átomos. El átomo de ese elemento es representado así: O.
Una molécula de otro elemento está formada por dos átomos. El átomo de ese elemento es representado así: I.
A la temperatura ambiente, el primer elemento está en estado gaseoso y el segundo en estado sólido.
A partir de la descripción esquemática de dos vasijas cerradas a la temperatura ambiente (se dibujan dos cuadrados de 6x6 cm.) describe mediante un dibujo el contenido de cada vasija.
- 2) Si un átomo de nitrógeno lo representamos así: N y un átomo de oxígeno así: O. Describe mediante un dibujo el significado de las siguientes expresiones:

a) $N_2 O_2$ b) $2 NO_2$ c) O_2 d) $2 O$ e) $O_2 (g)$

- 3) En una reacción entre los elementos N_2 y O_2 puede formarse una nueva sustancia.
Para cada una de las siguientes alternativas, señalar si es un posible conjunto de productos:

$N_2 O_2$; NO ; $N_2 O$; NO_2 ; $N_2 O_5$;

$N_2 O$ junto con NO_2 ; N_2 junto con O_2 .

- 4) La fórmula de la molécula diatómica del elemento cloro es Cl_2 . Representamos un átomo de Cl así Cl.
La fórmula de la molécula diatómica del elemento oxígeno es O_2 . Representamos un átomo de O así: O.
La fórmula de un compuesto formado por estos dos elementos es $Cl_2 O$. El siguiente es un dibujo esquemático de un matraz "erlenmeyer" cerrado que contiene el gas $Cl_2 O$ a la temperatura ambiente. Dibuja el contenido de la vasija.
El compuesto $Cl_2 O$ fue descompuesto en sus elementos. Cada elemento estaba en estado gaseoso y fue recogido en matraces "erlenmeyer" separados como los representados esquemáticamente a continuación. Dibuja el contenido de cada vasija.

5) Un alambre metálico tiene las siguientes propiedades:

- (a) Conduce la electricidad.
- (b) Tiene color marrón.
- (c) Es maleable.

El alambre fue calentado en una vasija en la que se había practicado previamente el vacío hasta que se evaporó. El gas tiene las siguientes propiedades:

- (d) Olor picante.
- (e) Color amarillo
- (f) Ataca los plásticos.

- i) Supón que puedes aislar un solo átomo del alambre metálico, ¿cuáles de las seis propiedades tendría este átomo?
- ii) Supón que puedes aislar un sólo átomo del gas, ¿cuáles de las seis propiedades tendría este átomo?

TAREA 46

Bain y Bertrand, (1984) han estudiado las representaciones de los alumnos sobre la estructura de la materia, empleando el siguiente cuestionario que hemos recogido de Llorens (en prensa).

- 1) ¿Cómo representáis el interior de una gota de alcohol puro? (Si pudiérais observarla con un enorme aumento). *Explicar en pocas palabras* lo que veríais y *haced un dibujo* con las indicaciones necesarias para que pueda comprenderse.
- 2) ¿Cómo representáis el aire contenido en un balón (si pudiera observarse con un enorme aumento)? *Explicar en pocas palabras* lo que veríais y *haced un dibujo* con las indicaciones necesarias para que pueda comprenderse.
- 3) a) ¿Cómo representaríais el interior de una *bola de hierro a la temperatura ambiente (20°C)* (si pudiérais observarla con un gran aumento). *Explicar en pocas palabras* lo que veríais y *haced un dibujo* con las indicaciones necesarias para que pueda comprenderse.

- b) ¿Cómo representaríais *la misma bola de hierro calentada a 200° C (si pudiérais observarla con un gran aumento)*. *Explicar en pocas palabras* lo que veríais y *haced un dibujo* con las indicaciones necesarias para que pueda comprenderse. (Tened en cuenta que el hierro funde a 1500° C.

TAREA 47

Stavridou y Solomonidou (1989) eligen dieciocho fenómenos de la vida diaria, nueve representaban cambios físicos y nueve cambios químicos y se los presentan a los alumnos en tarjetas en las que incluyen una breve descripción, teniendo cuidado en utilizar lenguaje y expresiones familiares para ellos. Se le pedía a cada uno de los alumnos que hiciera una clasificación buscando puntos en común y a continuación se le realizaban una serie de preguntas. Los fenómenos elegidos eran:

Fenómenos físicos:

1. Una piedra cayendo.
2. Arrugar papel.
3. Cera fundiendo.
4. Ebullición del agua.
5. Congelación del agua.
6. Evaporación del agua de colonia.
7. Disolver sal en agua.
8. Añadir azúcar al té y agitar.
9. Verter cerveza en un vaso (hace espuma).

Fenómenos químicos:

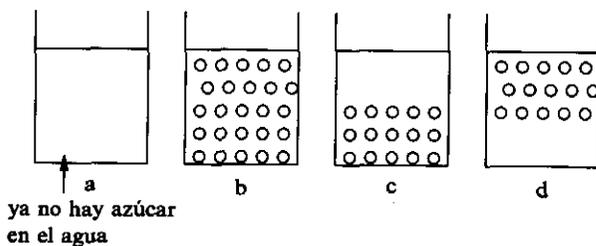
1. Una tostada que se hace demasiado y se quema.
2. Madera ardiendo en la chimenea.
3. Zumo de uva que se convierte en vino.
4. Leche que se pone agria.
5. Una camisa blanqueada al sol.

6. Lejía blanqueando un vestido.
7. Zumo de limón actuando sobre mármol.
8. Un huevo cociendo.

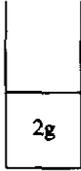
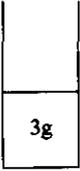
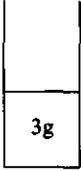
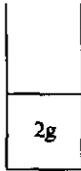
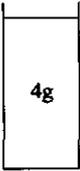
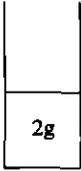
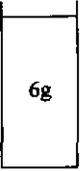
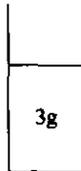
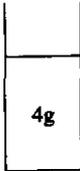
TAREA 48

Serrano y Blanco (1988) presentan las siguientes cuestiones sobre disoluciones:

1. ¿Cuál de los siguientes dibujos representa mejor a las partículas de azúcar disueltas en agua?



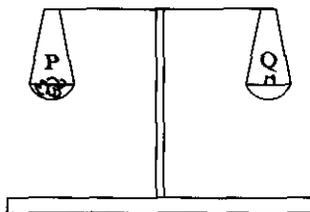
2. En cada uno de los siguientes tubos se ha disuelto una cantidad de sal –indicada en gramos (g)– en un volumen de agua –indicado en centímetros cúbicos (c.c.). De cada pareja, ¿cuál tendrá el agua más salada?

<p>A.-</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>10 cc 2g</p> <p>1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>10 cc 3g</p> <p>2</p> </div> </div> <p>El núm. 1 <input type="checkbox"/></p> <p>El núm. 2 <input type="checkbox"/></p> <p>Los dos iguales <input type="checkbox"/></p> <p>No lo sé <input type="checkbox"/></p>	<p>B.-</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>10 cc 3g</p> <p>3</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>20 cc 3g</p> <p>4</p> </div> </div> <p>El núm. 3 <input type="checkbox"/></p> <p>El núm. 4 <input type="checkbox"/></p> <p>Los dos iguales <input type="checkbox"/></p> <p>No lo sé <input type="checkbox"/></p>
<p>C.-</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>10 cc 2g</p> <p>5</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>20 cc 4g</p> <p>6</p> </div> </div> <p>El núm. 5 <input type="checkbox"/></p> <p>El núm. 6 <input type="checkbox"/></p> <p>Los dos iguales <input type="checkbox"/></p> <p>No lo sé <input type="checkbox"/></p>	<p>D.-</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>10 cc 2g</p> <p>7</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>25 cc 6g</p> <p>8</p> </div> </div> <p>El núm. 7 <input type="checkbox"/></p> <p>El núm. 8 <input type="checkbox"/></p> <p>Los dos iguales <input type="checkbox"/></p> <p>No lo sé <input type="checkbox"/></p>
<p>E.-</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>14 cc 3g</p> <p>9</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>15 cc 4g</p> <p>10</p> </div> </div> <p>El núm. 9 <input type="checkbox"/></p> <p>El núm. 10 <input type="checkbox"/></p> <p>Los dos iguales <input type="checkbox"/></p> <p>No lo sé <input type="checkbox"/></p>	<p>En este caso, explica cómo lo has averiguado:</p>

TAREA 49

Driver (1985) analiza las interpretaciones de los alumnos en la combustión de un estropajo metálico. Para ello utiliza la siguiente tarea:

Se ha colocado una pequeña porción de estropajo de hierro en el platillo P y se han colocado pesas en el platillo Q hasta equilibrar la balanza.



Se retira entonces el estropajo de hierro y se calienta al aire. Se forma un polvo negro y se recoge con cuidado, depositándolo en el platillo P.

¿Qué crees que le ocurrirá al platillo P?

Explica tu respuesta.

TAREA 50

Carbonell y Furió (1987) estudian las ideas que los alumnos tienen sobre la combustión del alcohol mediante la siguiente cuestión:

En un plato se quema con una cerilla un poco de alcohol hasta que ya no queda líquido.

- Los gases producidos continuarán siendo el alcohol que había, pero en estado gaseoso.
- Los gases obtenidos serán nuevas sustancias –distintas al alcohol– que estarán en estado gaseoso.
- El alcohol ha desaparecido y no se ha convertido en nada material.
- Otra respuesta
- No lo sé.

Explica la opción elegida

TAREA 51

Donnelly y Welford (1988) estudian las ideas sobre la combustión de la gasolina de un coche.

Un coche de 1000 kg de masa se llena con 50 kg de gasolina. Se conduce el coche hasta que se vacía el depósito de gasolina. El coche de nuevo tiene una masa de 1000 kg.

¿Cuál es aproximadamente la masa de los gases que ha expulsado el tubo de escape durante el trayecto?

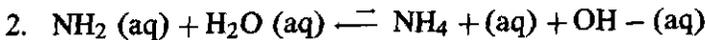
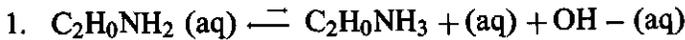
Explica tu respuesta tan completamente como te sea posible.

.

TAREA 52

Jhonstone, McDonald y Webb (1977) estudian la interpretación que los estudiantes dan a la doble flecha de un equilibrio mediante la siguiente cuestión.

Compara los siguientes equilibrios.



y decide cuál de las siguientes afirmaciones es correcta.

- a) En cada uno de ellos la velocidad de reacción inversa es mayor que la velocidad de reacción directa.
- b) La velocidad de reacción directa en 1 es mayor que la velocidad de reacción directa en 2.

- c) En las dos las velocidades de reacción inversa y directa son iguales y el sistema 1 contiene un mayor porcentaje de productos que el sistema 2.
- d) El porcentaje de reactivos en los dos sistemas es el mismo.
- e) No sé cuál es cierta.

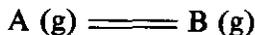
Respuestas obtenidas:

a) (30%) b) (11%) c) (15%) d) (14%) e) (30%)

TAREA 53

Furió y Ortiz (1983) estudian las ideas de los alumnos sobre el equilibrio químico utilizando, entre otras, las siguientes cuestiones.

1. El sistema de la figura 1 está en equilibrio a cierta temperatura, según la ecuación:



1 mol de A
1 mol de B

Figura 1

Dados los siguientes recipientes, a la misma temperatura, en los que A y B están separados como muestran las figuras 2 y 3:

1 mol de A	1 mol de B
---------------	---------------

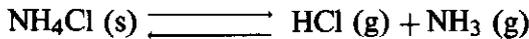
Figura 2

1 mol de A	1 mol de B
------------	------------

Figura 3

¿Cuál de las siguientes afirmaciones te parece correcta?

- a) Los gases A y B están en equilibrio sólo en el recipiente de la figura 2.
 - b) Los gases A y B están en equilibrio sólo en el recipiente de la figura 3.
 - c) En los dos recipientes (2 y 3) los gases A y B están en equilibrio.
 - d) En ninguno de los dos recipientes (2 y 3) los gases A y B están en equilibrio.
 - e) No lo sé.
2. Al calentar el sólido NH_4Cl ; se descomponen en los gases HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanza un estado de equilibrio, según la ecuación:



Señala cuál de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración de sólido:

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) La pregunta es absurda.
- d) Disminuir la presión.
- e) No lo sé.



BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, J. A. (1989): Las interpretaciones de los estudiantes de BUP sobre electrocinética. Ejemplos con circuitos de corriente continua. *Investigación en la Escuela*, 7, 107-115.
- Acevedo, J. A. (1990): Concepciones de los alumnos. Implicaciones didácticas. Aportaciones acerca del aprendizaje por analogía. En Cambio educativo y desarrollo profesional., *Actas de las VII Jornadas de estudio sobre Investigación en la Escuela*.
- Adey, P. S., y Shayer, M. (1990): Accelerating the development of formal thinking in middle and high school pupils. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 267.
- Aguirre de Cárcer, I. (1985): *Los adolescentes y el aprendizaje de las Ciencias*. Madrid: Servicio de publicaciones del MEC.
- Anamuah-Mensah, J. (1986): Cognitive strategies used by chemistry students to solve volumetric analysis problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(9), 759-769.
- Andersson, B. (1979): *Some aspects of children's understanding of boiling point*. Proceedings of an International Seminar on Cognitive Development Research in Science and Mathematics.: University of Leeds. Leeds.
- Andersson, B. (1986a): The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Andersson, B. (1986b): Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70(5), 549-563.
- Appleton, K. (1984): *Children's ideas about hot and cold*. Learning in Science Project (primary): Working paper.: Waikato University, Hamilton, Nueva Zelanda.
- Araujo, J. y Chadwick, C. (1975): *Tecnología educacional. Teorías da instrução*. Petrópolis, Brasil: Vozes. Trad. cast. de S. Rodríguez y P. Aguilera. *Tecnología educacional. Teorías de instrucción*. Barcelona: Paidós, 1988.
- Archenhold, W.; Driver, R. y Orton, A. (Eds). (1980): *Cognitive development research in science and mathematics* Leeds: University of Leeds.

- Arnay, J. (1988): *Las teorías implícitas sobre el concepto de ser vivo*. Universidad de La Laguna: Facultad de Psicología. Tesis Doctoral no publicada.
- Asensio, M.; Carretero, M. y Pozo, J.I. (1989): La comprensión del tiempo histórico. En M. Carretero, J.I. Pozo, M. Asensio (Eds.), *La enseñanza de las Ciencias Sociales*. Madrid: Visor.
- Ausubel, D. P. (1973): Some psychological aspects of the structure of knowledge. En S. Elam (Ed.), *Education and the structure of knowledge*. Illinois: Rand Macnally. Trad. cast. de M Lores y R. Orayen: *La educación y la estructura del conocimiento*. Buenos Aires: El Ateneo, 1973.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. (1978): *Educational Psychology. A cognitive view. 2nd edition*. New York: Holt, Rinehart y Winston Psicología Educativa. Trad. cast. de M. Sandoval: México: Trillas, 1983.
- Baddeley, A. D. (1982): *Your memory.*, Londres: Sidgewick y Jackson. Trad. cast. de F. Rodríguez de Lecea, Susana del Viso y M^{ma} Luisa Sánchez: *Su memoria: cómo conocerla y dominarla*. Madrid: Debate, 1984.
- Baddeley, A. D. (1990): *Human memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Bell, B; y Freyberg, P. (1985): Language in the science classroom. En R. Osborne y P. Freyberg (Eds.), *Learning in science. The implications of children's science*. Nueva Zelanda: Heinemann Educational.
- Ben Zvi, R.; Eylon, B. y Silberstein, J. (1982): *A study of student conceptions of structure and process*. Weizmann. Institute of Science: Rehovot, Israel.
- Ben-Zvi, R.; Eylon, B. y Silberstein, J. (1987): Students' visualization of chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24(4), 117-120.
- Biddulph, F. y McMinn, B. (1984): *Experimenting with an alternative teaching approach on "metals"*. Working paper of the learning in Science project (primary): Waikato University, Hamilton, Nueva Zelanda.
- Biddulph, F. y Osborne, R. (1983): *Children's ideas about metals*. A working paper of the learning in Science project (primary): Waikato University, Hamilton, Nueva Zelanda.

- Bidell, T. R. y Fischer, K. W. (en prensa): Cognitive development in context: applying skill theory to education. En A. Demetriou, M. Shayer y A. Efklides (Eds.), *The neopiagetian theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- Bodner, G. M. y McMillen, L. B. (1986): Cognitive restructuring as an early stage in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 727-737.
- Borghi, L.; Ambrosio, A.D.; Massana, C.I.; Grossi, M.G. y Zoppi, D. (1988): Knowledge of air: a study of children aged between 6 and 8 years. *International Journal of Science Education*, 10(2), 179-188.
- Brook, A.; Briggs, H. y Bell, B. (1983): *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education: The University of Leeds.
- Brook, A.; Briggs, H.; Bell, B. y Driver, R. (1984): Aspects of secondary students' understanding of heat: Summary report. Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education: The University of Leeds.
- Brook, A. y Driver, R. (1984): *Aspects of secondary students' understanding of energy: Summary report*. Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education: The University of Leeds.
- Brown, A. L. y DeLoache, J. S. (1978): Skills, plans and self-regulation. En R. Siegler (Ed.), *Children's thinking: what develops?* Hillsdale, N.Y.; Erlbaum.
- Bruner, J. S.; Goodnow, J. y Austin, G. A. (1956): A study of thinking, Nueva York: Wiley. Trad. cast. de J. Vegas: *El proceso mental en el aprendizaje*. Madrid: Narcea, 1978.
- Bueso, A.; Furió, C. y Mans, C. (1988): Interpretación de las reacciones de oxidación-reducción por los estudiantes. Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 244-250.
- Bullock, M.; Gelman, R. y Baillargeon, R. (1982): The development of causal reasoning. En W.J. Friedman (Ed.), *The developmental psychology of time*. Londres: Academis Press.
- Bunge, M. (1959): The place of the causal principle in modern science.

- Cambridge: Harvard University Press. Trad. Cast. de H. Rodríguez: Causalidad. *El principio de causalidad en la ciencia moderna*. Buenos Aires: Eubeda, 1961.
- Caamaño, A.; Mayos, C.; Maestre, G. y Ventura, T. (1983): Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el bachillerato. Comunicación presentada en las Primeras Jornadas de Investigación Didáctica de Física y la Química. *Enseñanza de las Ciencias.*, 3(2), 198-200.
- Cachapuz, A.F.C. y Maskill, R. (1987): Detecting changes with learning in the organization of knowledge: use of word association tests to follow the learning of collision theory. *International Journal Science Education*, 9(4), 491-504.
- Calderhead, J. (1988): The development of knowledge structures in learning to teach. En J. Calderhead (Ed.), *Teachers' professional learning*. Londres: The Falmer Press.
- Camacho, M. y Good, R. (1989): Problem solving and chemical equilibrium. Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
- Cameron, D. L. (1985): A pictorial framework to aid conceptualization of reaction stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 62(6), 510-511.
- Carbonell, F. y Furió, C. (1987): Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 3-9.
- Carey, S. (1985a): *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass: M.I.T. Press.
- Carey, S. (1985b): Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? En S. Chipman; R. Segal y R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Carey, S. (1988): Reorganization of knowledge in the course of acquisition. En S. Strauss (Ed.), *Ontogeny, phylogeny and historical development*. Norwood, Nueva Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Carretero, M. y García-Madruga, J. A. (Eds.) (1984): *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza.

- Carretero, M. (1982): El desarrollo del estilo cognitivo dependencia-Independencia de campo. *Infancia y Aprendizaje*, 18, 65-82.
- Carretero, M. (1979): ¿Por qué flotan las cosas? El desarrollo del pensamiento hipotético-deductivo y la enseñanza de las ciencias. *Infancia y Aprendizaje*, 8, 7-22.
- Carretero, M. (1980): Investigaciones sobre el pensamiento formal. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 35, 1-28.
- Carretero, M. (1983): Teorías neopiagetianas. En A. Marchesi, M. Carretero y J. Palacios (Eds.), *Psicología Evolutiva 1. Teorías y métodos*. Madrid: Alianza Psicología.
- Carretero, M. (1984): De la larga distancia que separa la suposición de la certeza. En M. Carretero y J.A. Madruga (Eds.), *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza.
- Carretero, M. (1985a): El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: Las operaciones Formales. En M. Carretero, A. Marchesi y J. Palacios (Eds.), *Psicología Evolutiva 3. Adolescencia, madurez y senectud*. Madrid: Alianza Psicología.
- Carretero, M. (1985b): Aprendizaje y desarrollo cognitivo: un ejemplo del tratado del inútil combate. En J. Mayor (Ed.), *Actividad humana y procesos cognitivos*. Madrid: Alhambra.
- Carretero, M.; Palacios, J. y A. Marchesi (Eds) (1985): *Psicología Evolutiva 3. Adolescencia, madurez y senectud*, Madrid: Alianza.
- Carretero, M.; Pérez Echeverría, P. y Pozo, J. I. (1985): El extraño caso del aceite de colza y la solución de problemas de correlación. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 40(4), 703-725.
- Carretero, M.; Pozo, J. I. y Asensio, M. (1983): Comprensión de conceptos históricos durante la adolescencia. *Infancia y Aprendizaje*, 24, 55-74.
- Carter, C. S.; LaRussa, M. A. y Bodner, G. M. (1987): A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(7), 645-657.

- Case, R. (1985): *Intellectual development. Birth to adulthood*. Orlando: Academic Press. Trad. cast. I. Fernández: *El desarrollo intelectual: del nacimiento a la edad adulta*. Barcelona: Paidós, 1989.
- Case, R. (en prensa): The role of central conceptual structures in the development of children's scientific and mathematical thought. En A. Demetriou M. Shayer y A. Efklides (Eds), *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- Castorina, J. A. y Palau, G. D. (1981): Introducción a la *lógica operatoria de Piaget*. Buenos Aires: Paidós.
- Cervellati, R; Montuschi, A; Perugini, D; Grimellini-Tomasini, N. y Pecori Balandi, B. (1982): Investigation of secondary school students' understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, 59 (10), 852-856.
- Chandran, S.; Treagust, D. F. y Tobin, K. (1987): The role of cognitive factors in chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(2), 145-160.
- Chi, M. T. H; Glaser, R. y Rees, E. (1982): Expertise in problem solving. En R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*. Hillsdale: Erlbaum.
- Chi, M. T. H; Glaser, R. y Farr, M. (Eds.) (1988): *The nature of expertise*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Clark, A. (1987): From folk psychology to naive psychology. *Cognitive Science*, 11, 139-154.
- Claxton, G. (1984): Live and learn. Londres: Harper & Row Trad. cast de C. González: *Vivir y aprender*. Madrid: Alianza, 1987.
- Cros, D.; Chastrette, M. y Fayol, M. (1988): Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10(3), 331-336.
- Csapo, B. (en prensa): Improving the operational abilities in children. En A. Demetriou; M. Shayer y A. Efklides (Eds.), *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Rotledge & Kegan Paul.
- Cubero, R. (1989): *Cómo trabajar con las ideas de los alumnos*. Sevilla: Diada.

- Davydov, V. V. (1972): *Vidy obobsheniya le obyrenii*. Moscú: Mir *Tipos de generalización en la enseñanza* La Habana: Pueblo y Educación, 1978.
- De la Fuente (1989): Similitudes superficiales en solución de problemas por analogía. *Cognitiva*, 2 (2), 3-20.
- De Vega, M. (1984): *Introducción a la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.
- Del Barrio, C. (1988): El desarrollo de la explicación de los procesos biológicos: cómo entienden los niños la causa de una enfermedad y su curación. *Infancia y Aprendizaje*, 42, 81-95.
- Delval, J. A. (1975): *El animismo y el pensamiento infantil*. Madrid: Siglo XXI.
- Demetriou, A. (Ed). (1988): *Theories of cognitive development go to school*. Amsterdam: North-Holland.
- Demetriou, A.; Efklides, A. y Gustafsson, E.J. (en prensa) *Structural systems in developing cognition, science and education*. En: A. Demetriou; M. Shayer y A. Efklides (Eds.) *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- Dibar, M. C. y Colinvaux, D. (1989): Developing adults' views on the phenomenon of change of physical state in water. *International Journal of Science Education*, 11(2), 153-160.
- Dickinson, D. K. (1987): The development of a concept of material kind. *Science Education*, 71(4), 615.
- Dierks, W. (1981): Teaching the mole. *European Journal Science Education*, 3, 145-158.
- diSessa, A. (1983): Phenomenology and the evolution of intuition. En D. Gentner y A.L. Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Domínguez, J. (1986): Enseñar a comprender el pasado histórico: conceptos y "empatía". *Infancia y Aprendizaje*, (34), 1-21.
- Donnelly, J. F. y Welford, A. G. (1988): Children's performance in chemistry. *Education in Chemistry*, January, 7-10.
- Driver, R. (1980): A response to a paper by Michael Shayer. En W.R. Archenhold; R. Driver; R.H. Orton y C. Wood-Robinson (Eds.),

- Cognitive Development Research in Science and Mathematics*. Leeds: University of Leeds.
- Driver, R. (1981): Pupils' alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101.
- Driver, R. (1985): Beyond Appearances: The conservation of matter under physical and chemical transformations. En: R. Driver; E. Guesne y A. Tiberghien. *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Driver, R. (1986): Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.
- Driver, R. (1988): Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Driver, R.; Guesne, E y Tiberghien, A. (1985): Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Driver, R. y Russell, T. (1981): *An investigation of the ideas of heat, temperature and change of state of children aged between 8 and 14 years*. Un published manuscript: University of Leeds. Leeds.
- Driver, R. y Easley, M. (1978): Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science education. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Driver, R. y Erickson, G. (1983): Theories-in action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37-60.
- Duncan, I. M. y Johnstone, A. H. (1973): The mole concept. *Education in Chemistry*, 10, 213-214.
- Efklides, A.; Demetriou, A y Gustafson, E. J. (en prensa): Training, cognitive change and individual differences. En A. Demetriou, M. Shayer y A. Efklides (Eds.), *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge y Kegan Paul.
- Engel Clough, 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.

- Erickson, G. (1985): Heat and temperature: An overview of pupils' ideas. En R. Driver; E. Guesne y A. Tiberghien *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Farr, R. y Moscovici, S. (Eds). (1984): *Social representation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Felty, W. L. (1985): Gram formula weightss and fruit salad. *Journal of Chemical Education*, 62(1), 61.
- Fernández Ballesteros, R. (1980): Del estilo cognitivo "Dependencia-Independencia de Campo" a una teoría de la diferenciación. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 35(3), 467-490.
- Fernández Castañón, M. L. (1989): Errores en el concepto de mol. *Apuntes de Educación*, 35, 6-8.
- Fernández, J. M.; Trigueros, T. y Gordo, L. (1988): Ideas sobre los cambios de estado de agregación y las disoluciones en alumnos del 2^{mo} curso de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 42-46.
- Flavell, J. H. (1963): *The developmental psychology of Jean Piaget*. Princeton: Van Nostrand. Trad. cast. de M.T. Cevasco: *La psicología evolutiva de Jean Piaget*. Buenos Aires: Paidós, 1968.
- Flavell, J. H. (1977): *Cognitive development*. Englewood-Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. Trad. cast. de J.I. Pozo: *Desarrollo cognitivo*. Madrid: Visor, 1984.
- Flavell, J. H. (1982): On cognitive development. *Child Development*, 53, 1-10.
- Flavell, J.H. (1985): *Cognitive development. 2nd ed.* Englewood-Cliffs, N.J: Prentice Hall. Trad. cast: *Desarrollo cognitivo: Segunda edición*. Madrid: Visor, en prensa.
- Fletcher, G. (1984): Psychology and common sense. *American Psychologist*, 39(3), 203-213.
- Frazer, M. J. y Servant, D. M. (1987): Aspects of stoichiometry—where do students go wrong? *Education in Chemistry*, 24(3), 73-75.
- Freyberg, P.; y Osborne, R. (1985): Assumptions about teaching and learning. En R. Osborne y P. Freyberg (Eds.), *Learning in Science*. Londres: Heinemann.

- Friedman, W. J. (Ed). (1982): *The development psychology of time*. Nueva York: Academic Press.
- Fuller, R. G; Karplus, R. y Lawson, E. (1977): Can Physics develop reasoning? *Physics Today*, 30(2), 23-28.
- Furió, C. (1986): Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 73-77.
- Furió, C. y Ortiz, E. (1983): Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, 15-20.
- Furió, C. y Hernández, J. (1983): Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 83-91.
- Furnham, A. (1988): *Lay theories. Everyday understanding of problems in the social sciences*. Oxford: Pergamon.
- Gabel, D. L.; Samuel, K. V. y Hunn, D. (1987): Understanding the particulae nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 695-697.
- Gabel, D. L. y Samuel, K. V. (1986): High school student's ability to solve molarity problems and their analog counterparts. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(2), 165-176.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986): La historia de las ciencias: Una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 253-258.
- Gagne, R. M. (1985): *The conditions of learning of instruction*. N.York: Holt, Rinehart & Winston. Trad. cast. de R. Elizondo: *Las condiciones del aprendizaje*. México, D.F: Trillas, 1987.
- Gailiunas, P. (1987): Proportionality in Science Education. *The School Science Review*, 68(245), 744-748.
- García Albea, J. E. (Ed). (1986): *Percepción y comunicación*. Madrid: Pirámide.
- García Madruga, J. A. y Carretero, M. (1986): Estrategias en el razonamiento: tareas lógicas y probabilísticas. En H.Peraita (Ed.), *Psicología Cognitiva y Ciencia Cognitiva*. Madrid: UNED.

- García Madruga, J. A. y León, J. A. (en prensa): Comprensión y memoria de textos expositivos. En M. Carretero y J.A. García Madruga (Eds.), *Adolescencia y Aprendizaje*. Barcelona: Paidós.
- Gil, D. (1983): Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, 26-33.
- Gil, D. (1986): La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 111-121.
- Gil, D. y Carrascosa, J. (1985): Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal Science Education*, 7(3), 231-236.
- Gilbert, J. K.; Osborne, R. J. y Fensham, P. J. (1982): Childrens' science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- Gilbert, J. K. y Swift, D. J. (1985): Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education*, 69(5), 681-696.
- Gilbert, J. K. y Watts, D. M. (1983): Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- Giordan, A.; Raichvarg, D. D.J.; Gagliardi, R. y Canay, A. M. (1987): *Conceptos de biología. 2 vols.* Barcelona: Labor/MEC
- Giordan, A. y De Vecchi, G. (1987): *Les origines du Savoir*. Delachaux et Niestlé: Neuchatel. Trad. cast: *Los orígenes del saber: de las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla. Diada, 1988.
- Golberg, F. M. y McDermott, L. C. (1983): Not all the many answers students give represent misconceptions: examples from interviews on geometrical optics. En H. Helm y J.D. Novak (Eds.), *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, Nueva York: Dept. of Education, Cornell University.
- Goodstein, M. P. y Howe, A. C. (1978): Application of piagetian theory to introductory chemistry instruction. *Journal of Chemical Education*, 55(3), 171-173.

- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. (1986): Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8(4), 427-441.
- Gower, D. M.; Daniels, D. J. y LLOYD, G. (1977a): The mole concept. *The School Science Review*, 58(205), 658-676.
- Gower, D. M.; Daniels, D. J. y LLOYD, G. (1977b): Hierarchies among the concepts which underlie the mole. *The School Science Review*, 59(207), 285-299.
- Guesne, E. (1985) Light. En R. Driver; E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. Cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Guthrie, S. A. (1980): A cognitive theory of religion. *Current Anthropology*, 21, 181-205.
- Gutiérrez, R. (1984): *Piaget y el curriculum de ciencias*. Madrid: Narcea.
- Hackling, M. W. y Garnett, P. J. (1985): Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214.
- Halford, G. S. (1982): *The development of thought*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Hankinson, G. M.; Hudson, M. J. y Sangar, S. C. (1977): What difficulties do A-level pupils have solving problems involve the mole concept? *The School Science Review*, 59, 367-368.
- Hanson, N. R. (1958): *Patterns of discovery*. Cambridge: Cambridge University Press. *Patrones de descubrimiento*. Madrid: Alianza, 1977.
- Haroutounian, S. (1983): *Equilibrium in the balance*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Hashweh, M. C. (1986): Toward an explanation of conceptual change. *European Journal Science Education*, 8(3), 229-249.
- Heelan, P. A. (1983): *Space-perception and the philosophy of science*. Berkeley: University of Angeles Press.

- Helm, H. y Novak, J. D. (1983): *Proceedings of the international seminar misconceptions in science and mathematics*. N. York: Cornell University.
- Herron, J. D. (1975): Piaget for chemists. *Journal of Chemical Education*, 52(3), 147-150.
- Hewson, P. W. y Hewson, M. G. (1984): The role conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Hewson, P. W. y Posner, G. J. (1984): The use the schhema theory in the design of instructional materials: a physics example. *Instructional Science*, 13, 119-139.
- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1988): *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia/MEC.
- Holding, B. (1985): *Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry: Summary report*. Chidren's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education.: The University of Leeds.
- Holland, J. M.; Holyoak, K. J.; Nisbett, R. E. y Thagard, P.R. (1986): *Induction. Processes of inference, learning and discobery*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Holyoak, K. M. y Koh, K. (1987): Surface an structural similarity in analogical transfer. *Memory and Cognition*, 15(4), 332-340.
- Ibañez, T. (Ed) (1988): *Ideologías de la vida cotidiana*. Barcelona: Sendai.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1955): *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*. Paris: P.U.F. Trad. cast. de M.C. Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1948): *Le représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris: P.U.F.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Fernández, J. (1989): Han sido seleccionados o se han acostumbrado: Ideas de estudiantes de biología sobre la selección natural y consistencia entre ellas. *Infancia y Aprendizaje*, 47, 67-81.

- Jiménez Alexandre, M. P. (1990): *los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral, Edición Facsimil.
- Johnston, K. (1988): The ownership of change as a basis for teachers' professional learning. En J. Calderhead (Ed.), *Teachers' professional learning*. Londres: The Falmer Press.
- Johnstone, A. (1977): Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, (14), 169-171.
- Johnstone, A. y Moynihan, T. F. (1985): The relationship between performances in word association tests and achievement in Chemistry. *European Journal of Science Education*, 7(1), 57-66.
- Kahneman, D; Slovic, P. y Tversky, A. (Eds). (1982): *Judgement under uncertainty: heuristics and biases*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Karmiloff-Smith, A. e Inhelder, B. (1975): If you want to get ahead, get a theory. En *Cognition*, 3: 195-212. Trad. cast. de J.I. Pozo en *Infancia y Aprendizaje*: 13: 67-88.
- Karplus, R. (1977): Science teaching and development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14(2), 169-175.
- Karplus, R.; Karplus, E. F.; Formisano, M. y Paulsen, A. C. (1979): Proportional reasoning and control of variables in seven countries. En J. Lochhead y J. Clement (Eds.), *Cognitive process instruction*. Filadelfia: Franklin Institute Press.
- Kavanaugh, R. D. y Moomaw, W. R. (1981): Inducing formal thought in introductory chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 58(3), 263-265.
- Keane, M. T. (1988): *Analogical problem solving*. Chichester: Ellis Horwood.
- Kean, E.; Middlecamp, C.H. y Scott, D.L. (1988): Teaching students to use algorithms for solving generic and harder problems in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 65 (11), 987-990
- Kelley, H. H. (1967): Attribution theory in social psychology. En D. Levine (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation*. Lincoln: University Nebraska Press.

- Kelly, G. A. (1955): *The Psychology of Personal Constructs*. Nueva York: Norton.
- Kirkham, J. (1989): Balanced science: equilibrium between contest, process and content. En J. Wellington (Ed.), *Skills and processes in science education*. Londres: Routledge.
- Knutton, S. (1983): Chemistry textbooks—are they readable? *Education in Chemistry*, May, 100–105.
- Krajcik, J. S. y Haney, R. E. (1987): Proportional Reasoning and achievement in high school chemistry. *School Science and Mathematics*, 87(1), 25–32.
- Kuhn, D. (1979): The application of Piaget's theory of cognitive development to education. *Harvard Educational Review*. *Monografía de Infancia y Aprendizaje*. 1981.
- Kuhn, D.; Pennington, N.; y Leadbeater, B. (1983): Adult thinking in developmental perspective: The sample of the juror reasoning. En P. Baltes y O. Brim (Eds.), *Life-Span developmental psychology*. Nueva York: Academic Press. Trad. cast. de J.I. Pozo: *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- Kuhn, D. y Amsel, E. (1983): *Causal inferences in multivariable contexts*. Informe no publicado. Nueva York: Columbia University.
- Kuhn, T. S. (1962): *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. Trad. cast. de A. Contín: *La estructura de las revoluciones científicas* México: FCE, 1971.
- Lakatos, I. (1978): *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press. Trad. cast. de J.C. Zapatero: *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983.
- Langley, P.; Simon, H. A.; Bradshaw, G. L. y Zytkow, J. W. (1987): *Scientific discovery: computational explorations of the creative processes*. Cambridge, Ma: M.I.T. Press.
- Lawson, A. E. (1985): A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 569–617.
- Lawson, A. E. (1977): Relationships among performances on three formal operational tasks. *The Journal of Psychology*, 96, 235–241.

- Lesser, R. y Paisner, M. (1985): Magical thinking in formal operational adults. *Human development*, 28, 57-70.
- Levin, I. y Zakay, R. (Eds.) (1989): *Time and Human Cognition: a life perspective*. Amsterdam: Holland Publ.
- Linn, M. C. (1986): Science. En R.F. Dillon y R. J.Sternberg (Eds.), *Cognition and instruction*. Londres: Academic Press.
- Llorens, J. A.; Llopis, R. y De Jaime, M. (1987): El uso de la terminología científica en los alumnos que comienzan el estudio de la química en la enseñanza media. Una propuesta metodológica para su análisis. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 33-40.
- 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. (1989): El proceso de cambio conceptual en la iniciación a la Química. La introducción de los conceptos de sustancia pura y cambio químico. *Revista de Educación*, 289, 307-332.
- Llorens, J. A. (en prensa): *Comenzando a aprender química. De las ideas alternativas a las actividades de aprendizaje*. Madrid: Visor.
- Llorens, J. A. y Llopis, R. (1985): Diseño de pruebas para la caracterización del perfil cognitivo de los alumnos que comienzan el estudio de la Química en EEMM. *Primer Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas: Enseñanza de las Ciencias*,
- 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.
- Llorens, J. A. y De Jaime, M. C. (1987): El medio cultural y la formación de los conceptos científicos: una aproximación lingüística. *Infancia y Aprendizaje*, (39-40), 47-55.
- López Cerezo, J. A. (1989): El caso contra la psicología popular. *Cognitiva*, 2(3), 227-242.
- López Rupérez, F. (1989): Dependencia-Independencia de campo y Educación Científica. *Revista de Educación*, (289), 235-259.
- López Rupérez, F. y Palacios Gómez (1988): *La exigencia cognitiva en física básica. Un análisis empírico*. Madrid: MEC.

- Lynch, P. P. (1985): The recognition of concept definitions: A comparison between hindi speaking students in India and english speaking students in Australia. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 675-686.
- Mahoney, M. J. y Freeman, A. (1985): *Cognition and psychotherapy*. Nueva York: Plenum Press. *Cognición y terapia*. Barcelona: Paidós, 1988.
- Martorano, S. C. (1977): A developmental analysis of performance on Piaget's formal operational tasks. *Developmental Psychology*, 13, 666-672.
- Maskill, R. y Cachapuz, A. F. (1989): Learning about the chemistry topic of equilibrium the use of word association tests to detect developing conceptualizations. *International Journal of Science Education*, 11(1), 57-69.
- McCloskey, M. y Kargon, R. (1988): The meaning and use of historical models in the study of intuitive physics. En S. Strauss (ed.), *Ontogeny, phylogeny and historical development*. Norwood, N. Y.: Ablex Publishing Corporation.
- Mehut, M.; Saltiel, E. y Tiberghien, A. (1985): Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.
- Menis, J. H. (1988): Student perceptions on the conditions of learning the proportion concept in canadian upper secondary science physics, chemistry, biology) classes; results from the second international science study (S.I.S.S.) in Canada. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(3), 225-232.
- Millar, R. y Driver, R. (1987): Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Mira, J. J. y Diges, M. (1990): Teorías del sentido común sobre el testimonio de testigos. Comunicación presentada al II Congreso del Colegio Oficial de Psicólogos. Area 9: Psicología Jurídica (pp. 16-20). Valencia.
- Moreno, A. (1989): *Perspectivas psicológicas sobre la conciencia*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid.

- Moscovici, S. (1984): The phenomenon of social representations. En R.M. Farr y S.Moscovici (Eds.), *Social representations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mulopo, M. M. y Seymour Fouler, H. (1987): Effects of traditional and discovery instructional approaches on learning outcomes for learners of different intellectual development: a study of chemistry students in Zambia. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 217-227.
- Myers, R. T. (1989): Moles, pennies and nickels. *Journal of Chemical Education*, 66(3), 249.
- Neisser, U. (1987): *Concepts and conceptual development*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Newell, A. y Simon, H. A. (1972): *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- Niaz, M. (1988a): The information-processing demand of chemistry problems and its relation to Pascual-Leone's functional M-capacity. *International Journal Science Education*, 10(2), 231-238.
- Niaz, M. (1988b): Manipulation of M demand of chemistry problems and its effect on student performance: a neo-piagetian study. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(8), 643-657.
- Niaz, M. (1989): Relation between Pascual-Leone's structural and functional M-space and its effect on problem solving in chemistry. *International Journal Science Education*, 11(1), 93-99.
- Niaz, M. y Lawson, A. E. (1985): Balancing chemical equations: The role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 41-51.
- Nisbett, R. y Ross, L. (1980): *Human inference: strategies and shortcomings of social judgment*. Englewoods Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Nisbett, R. E. y Wilson, T. D. (1977): Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Novak, J. D. y Gowin, B. D. (1984): *Learning how to learn*. Cambridge, Ma: Cambridge University. Trad. cast. de J.M. Campanario y E. Campanario: *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca, 1988.

- Novick, S. y Menis, J. (1976): A study of student perceptions of the mole concept. *Journal of Chemical Education*, 53(11), 720-722.
- Novick, S. y Nussbaum, J. (1978): Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, 63(3), 273-281.
- Novick, S. y Nussbaum, J. (1981): Pupils' understanding of the nature of matter: a cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Nussbaum, (1985): The particulate nature of matter in the gaseous phase. En J.R. Driver; E. Guesne y A. Tiberghien *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Nussbaum, J. y Novick, S. (1982): Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Oliva, J. M. y Rosado, L. (1990): Influencia de la habilidad de razonamiento formal y del estilo cognitivo en la naturaleza y consistencia de las ideas previas de los estudiantes sobre mecánica: primeros resultados. En *Cambio educativo y desarrollo profesional. Actas de las VII Jornadas de estudio sobre Investigación en la escuela de Sevilla*.
- Osborne, R. J. y Cosgrove, M. M. (1983): Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Osborne, R. J. y Freyberg, P. (Eds.) (1985): *Learning and science: the implications of "Children's science"*. N. Zelanda: Heinemann Educational.
- Packer, J. E. (1988): Difficulties with stoichiometry. *Education in Chemistry*, May, 25(3), 92-95.
- Páez, D. et al., (1987): *Pensamiento, individuo y sociedad. Cognición y representación social*. Madrid: Fundamentos.
- Páez, D.; Villarreal, M; Echeverría, A; y Valencia, J. (1987): Cognición Social: Esquema y función cognitiva aplicada al mundo social. En D. Páez . (Eds.), *Pensamiento, individuo y sociedad. Cognición y representación social*. Madrid: Editorial Fundamentos.

- Pascual-Leone, J. (1980): Constructive problems for constructive theories: the current relevance of Piaget's work and a critique of information-processing simulation psychology. En J.R. Kluwe y H. Spada (Eds.), *Developmental models of thinking*. Nueva York: Academic Press. Trad. Cast J.I. Pozo: *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- Peel, E. A. (1971): *The nature of adolescent judgement*. Londres: Staples Press.
- Pérez Echeverría, P. (1988): *Razonamiento probabilístico y correlacional. Influencia de teorías previas y datos*. Tesis inédita. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Pérez Echeverría (1989a): *Proyecto Docente en Razonamiento y Solución de Problemas*. Universidad Autónoma de Madrid: Facultad de Psicología.
- Pérez Echeverría, M. P. (1989b): Influencia de las teorías previas en los juicios correlacionales. *Cognitiva*, 2(3), 301-321.
- Pérez Echeverría, M. P. (1989c): *Las teorías implícitas en el razonamiento inductivo*. Informe no publicado.: Facultad de Psicología de la U.A.M.
- Pérez Echeverría, P. (1990): *Psicología del razonamiento probabilístico*. Madrid: Servicio de Publicaciones de la U.A.M.
- Pérez Echeverría, P.; Carretero, M. y Pozo, J. I. (1986): Los adolescentes ante las matemáticas: proporción y probabilidad. *Cuadernos de pedagogía*, 133, 9-33.
- Piaget, J. (1926): *La représentation du monde chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux y Niestlé. Trad. cast. de V. Valls y Anglés: *La representación del mundo en el niño*. Madrid: Morata, 1973.
- Piaget, J. (1927): *La causalité physique chez le enfant*. París: Alcan. Trad. cast. de J. Comas: *La causalidad física en el niño*. Madrid: Espasa Calpe, 1934.
- Piaget, J. (1936): *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. París: Delachaux et Niestlé. Trad. cast. de L. Fernández: *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. Madrid: Aguilar, 1972.
- Piaget, J. (1946): *Le développement de la notion du temps chez l'enfant*. París: PUF. Trad. cast. de V.M. Suárez: *El desarrollo de la noción de tiempo en el niño*. México: F.C.E., 1978.

- Piaget, J. (1947): *La psychologie de l'intelligence*. Paris: Colin.
- Piaget, J. (1962): Comentarios sobre las observaciones críticas de Vygotski. Apéndice a la edición inglesa de L.S. Vygotski, *Pensamiento y Lenguaje*. Buenos Aires: La Pléyade.
- Piaget, J. (1970a): Piaget's theory. En P.H. Mussen *Carmichael's manual of child psychology*. Nueva York: Wiley. *Monografía de Infancia y Aprendizaje*. 2: 13-54, 1981.
- Piaget, J. (1970b): L'évolution intellectuelle entre l'Adolescence et l'age adulte. *Rapport sur le III Congrès International FONEME sur la formation humaine a l'age adulte*. Milán: Trad. cast. en parte de J.A. Delval en J.A. Delval: *Lecturas de psicología del niño (vol 2.)*. Madrid: Alianza, 1978.
- Piaget, J. (1971): Causalité et operations. En J. Piaget y R. García, *Les explications causales*. Paris: P.U.F. Trad. cast. de E.R. Póliza: *las explicaciones causales*. Barcelona: Barral, 1973.
- Piaget, J. (1973): *la formation de la notion de force*. Paris: P.U.F.
- Piaget, J. (1974): *Introduction a l'Epistemologie génétique II*. Paris: P.U.F.
- Piaget, J. y García, R. (1971): *Les explications causales*. Paris: PUF. Trad. cast. de R. Póliza: *Las explicaciones causales*. Barcelona: Barral, 1973
- Piaget, J. y García, R. (1983): *Psychogénese et historie des sciences*. Paris: P.U.F. Trad. cast. de P. Piñero: *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI, 1983.
- Piaget, J. e Inhelder, B. (1941): *Le developpement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel y Paris: Delachaux y Niestlé. Trad. cast. de G. Sastre: *El desarrollo de las cantidades en el niño*. Barcelona: Nova Terra, 1971.
- Piaget, J. e Inhelder, B. (1951): *La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. y Szeminska, A. (1941): *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchatel et Paris: Delachaux et Niestlé. Trad. cast. de *La génesis del número en el niño*. Buenos Aires: Guadalupe, 1967.
- Poole, R. L. (1989): Teaching stoichiometry: A two cycle approach. *Journal of Chemical Education*, 66(1), 57-58.

- Pope, M. (1988): Anteojos constructivistas: implicaciones para los procesos de enseñanza-Aprendizaje. En L.M. Villar (Ed.), *Conocimiento, creencias y teorías de los profesores*. Marfil: Alcoy.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (1986): Desarrollo cognitivo y aprendizaje escolar. *Cuadernos de Pedagogía*, (133), 15-19.
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (1987): Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas. ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (1989): Las explicaciones causales de expertos y novatos en Historia. *La enseñanza de las ciencias sociales*. Visor: Madrid.
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (en prensa): Causal theories and reasoning strategies by experts and novices in Mechanics. En A. Demetriou, M. Shayer y A. Efklides (Eds.), *Theories cognitive development go to school*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- Pozo, J. I. (1985): *El niño y la historia*. Madrid: MEC.
- Pozo, J. I. (1987a): *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- Pozo, J. I. (1987b): La Historia se repite: las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad. *Infancia y Aprendizaje*, 38, 69-87.
- Pozo, J. I. (1987c): Pensamiento causal: un cemento para los ladrillos del conocimiento. *Boletín de Psicología*, 14, 45-77.
- Pozo, J. I. (1988a): Razonamiento y formación de esquemas causales. *Cognitiva*, 1(2), 153-170.
- Pozo, J. I. (1988b): Procesos psicológicos en el cambio conceptual en química. En *Aspectos didácticos de la física y la química*. Zaragoza: I.C.E. de la Universidad de Zaragoza.
- Pozo, J. I. (1988c): De las tormentosas relaciones entre forma y contenido en el pensamiento: crónica de una muerte anunciada. *Estudios de Psicología*, 35, 117-135.
- Pozo, J. I. (1989): *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

- Pozo, J. I. (1990a): Una nueva forma de aprender. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, 24-27.
- Pozo, J.I. (1990b): "Lo que muchos profesores están deseando saber sobre el aprendizaje y nunca saben a quien preguntar". En: I. Brincones (Ed.) *Lecciones para la formación inicial del profesorado*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Pozo, J. I.; Asensio, M. y Carretero, M. (1986): ¿Por qué prospera un país? Un análisis cognitivo de las explicaciones en historia. *Infancia y Aprendizaje*, 34, 23-41.
- Pozo, J. I.; Gómez Crespo, M. A.; Limón, M. y Sanz Serrano, A. (1990): *Bases psicopedagógicas para la elaboración de un curriculum en Ciencias: Química*. Universidad Autónoma de Madrid: Facultad de Psicología.
- Preece, P. (1976): Mapping cognitive structure a comparison of methods. *Journal of Educational*, 68(1), 1-8.
- Preece, P. (1978): Exploration of semantic space: Review of research of the organization of scientific concepts in semantic memory. *Science Review*, 62, 547-562.
- Preece, P. (1988): A decade of research in science education. *School Education Review*, Marzo (579-585).
- Pribyl, J. R. y Bodner, G. M. (1987): Spatial ability and its role in organic chemistry: a study of four organic courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 229-240.
- Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales (1990): *Vocabulario científico y técnico*. Madrid: Espasa-Calpe.
- Richardson, K. (1988): *Understanding psychology*. Milton Keynes: Open University Press.
- Rips, L. P. (1983): Reasoning as a central intellectual ability. En R.J. Sternberg (ed.), *Advances in the study of human intelligence*. Hillsdale, N.Y: Erlbaum.
- Rivière, A. (1985): *La psicología de Vigotski*. Madrid: Visor.
- Rivière, A. (1987): *El sujeto de la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.
- Rodrigo, M. J. (1985): Las teorías implícitas en el conocimiento social. *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, 145-156.
- Rogers, C. (1987): *Psicología social de la enseñanza*. Madrid: Visor.

- Rosch, E. (1978): Principles of categorización. En E. Rosch y B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, N.Y: Erlbaum.
- Rosch, E. y Lloyd, B. B. (Eds) (1978): *Cognition and categorization*. Hillsdale, N.Y: Erlbaum.
- Rowe, H. A. (1985): *Problem solving and intelligence*. Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E; McClelland, J. L. y grupo PDP (1986): *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition*. Cambridge, Ma: Bradford Books.
- Ryle, G. (1949): *The concept of mind*. N.York: Penguin Books.
- Savoy, L. G. (1988): Balancing chemical equations. *The School Science Review*, June, 713-720.
- Schmidt, D. (1990): *La breve y triste historia de los alumnos A y B y de la alumna C y de un circuito en paralelo no comprendido*.
- Schmidt, H. J. (1984): How pupils think—empirical studies on pupil's understanding of simple quantitative relationships in chemistry. *The School Science Review*, 66(234), 156-162.
- Scholnick, E. K. (1983): *New trends in conceptual representation: challenges to Piaget's theory?* Hillsdale, N.Y: Erlbaum.
- Scholum, B. y Osborne, R. (1985): Relating the new to the familiar. En R. Osborne y P. Freyberg (Eds.), *Learning in Science: The implications of children's science*. Nueva Zelanda: Heinemann Educational.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C. (1989): Physical phenomena—chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11(1), 83-92
- Sebastiá, J. M. (1984): Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 161-169.
- Seligman, M. (1981): *Indefensión*. Madrid: Editorial Debate.
- Séré, M. (1985): The gaseous state. En R. Driver; E. Guesne y A. Tiberghien, *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Séré, M. (1986): Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal Science Education*, 8(4), 413-425.

- Serrano, T. y Blanco, A. (1988): *Las ideas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Narcea, apuntes IEPS, 47.
- Shayer, M. y Adey, P. (1981): *Towards a science of science teaching*. Londres: Heinemann Educational Books. Trad. cast. de A. Cameno: *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea, 1984.
- Shepherd, D. L. y Renner, J. W. (1982): Student Understandings and misunderstandings of states of matter and density changes. *School Science of Mathematics*, 82(8), 650-665.
- Shultz, T. R. (1982): Rules of causal attribution. *Monographs of the Society for the Research in Child Development*, 47(1), completo.
- Sierra, B. (1986): Inducción y transferencia analógica de esquemas. *Conocimiento y Acción*, 1, 23-60.
- Sierra, B. y Froufe, M. (1987): Incidencia de las representaciones gráficas en la solución de problemas por analogía. *Estudios de Psicología*, 29/30, 31-44.
- Sierra, B. y Zaccagnini, J. L. (1989): *Aprendizaje por analogía con esquema de conocimiento: una aplicación para la formación*. Informe inédito: Departamento de Psicología Básica, Social y Metodología de la U.A.M.
- Siguan, M. (1987): *Actualidad de Lev S. Vygotski*. Barcelona: Anthropos.
- Smedslund, J. (1982): Revising explications of common sense through dialogue: Thirty six psychological theorems. *Scandinavian Journal of Psychology*, 23, 299-305.
- Solomon, J. (1987): Social Influences on the Construction of pupil's understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
- Stavy, R. (1988): Children's conception of gas. *International Journal Science Education*, 10(5), 533-560.
- Stavy, R. y Berkovitz, B. (1980): Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, 64(5), 679-692.
- Stavy, R. y Stachel, D. (1985): Children's ideas about "solid" and "liquid". *European Journal Science Education*, 7(4), 407-421.

- Steiner, R. P. (1986): Teaching Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 6(12), 839.
- Sternberg, R. J. (Ed) (1985): *Human abilities*. Nueva York: Freeman. Trad. cast. de J.M. Bastús: *Las capacidades humanas*. Barcelona: Labor, 1986.
- Stich, S. (1983): *From folk psychology to cognitive science*. Bradford: MIT Press.
- Strauss, S. (Ed). (1988): *Ontogeny, phylogeny and historical development* Norwood, Nueva Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Sumfleth, E. (1988): Knowledge of terms and problem-solving in chemistry. *International Journal Science Education*, 10(1), 45-60.
- Tarpy, R. M. (1985): *Aprendizaje y motivación animal*. Madrid: Debate.
- Tiberghien, A. (1985): Heat and temperature: the development of ideas with teaching. En R. Driver; E. Guesne y A. Tiberghien. *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Tourniaire, F. y Pulos, S. (1985): Proportional reasoning: A review of the literature. *Educational Studies in Mathematics*, 16, 181-204.
- Triana, B. y Rodrigo, M. J. (1985): El concepto de infancia en nuestra sociedad: una investigación sobre teorías implícitas de los padres. *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, 157-171.
- Tulving, E. (1983): *Elements of episodic memory*. Londres: Oxford University Press.
- Tversky, A. y Kahneman, D (1974): Judgements under uncertainty: heuristics and biases. *Science*. 185. Trad. cast. de J.I. Pozo en: *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- Valsiner, J. (1985): Common sense and psychological theories: the historical nature of logical necessity. *Scandinavian Journal of Psychology*, 96, 97-109.

- Vázquez, C. (1985): Limitaciones y sesgos en el procesamiento de la información: más allá de la teoría del "hombre como científico". *Estudios de Psicología*, 23/24, 11-133.
- Viennot, L. (1979): Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.
- Villar, L. M. (Ed). (1988): *Conocimientos, creencias y teorías de los profesores*. Alcoy: Marfil.
- Vosniadou, S. y Brewer, W.F. (1987): "Theories of knowledge restructuring in development". *Review of Educational Research*. 57(1), 51-67.
- Voss, J. F. (1986): Social studies. En R.F. Dillon y R.J. Sternberg (Eds.), *Cognition and Instruction*. Londres: Academic Press.
- Voss, J. F.; Tyler, S.W.; y Yengo, L. A. (1983): Individual differences in the solving of social science problems. En R.F. Dillon y R.R. Schmeck (Eds.), *Individual differences in cognition*. Nueva York: Academic Press.
- Vygotski, L.S. (1934): *Myshlenie i rech*. Trad. cast. de M.M. Rotger: *Pensamiento y Lenguaje*. Buenos Aires: La Pléyade, 1977.
- Vygotskii, L. S. (1978): *Mind in society. The development of higher psychological process*. Cambridge, Ma: Harvard University Press. Trad. cast. de S. Furió: *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica, 1979.
- Wellington, J. (Ed) (1989): *Skills and processes in science education*. Londres: Routledge.
- Wellington, J. (1989): Skills and processes in science education: an introduction. En J. Wellington (Ed.), *Skills and processes in science education*. Londres: Routledge.
- Wertsch, J. V. (1985): *Culture, communication and cognition: vygotkian perspectives*. Cambridge, Ma: Cambridge University Press. Trad. cast. de: *Cultura, comunicación y cognición*. Barcelona: Paidós, 1988.
- West, L. H. T. y Pines, A. L. (Eds.) (1985): *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press.
- Wheeler, A. E. y Kass, H. (1978): Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62, 223-232.

- Wilson, A. H. (1987): Teaching use of formal thought for improved chemistry achievement. *International Journal Science Education*, 9(2), 197-202.
- Wiser, M. (1988): The differentiation of heat and temperature: history of science and novice-expert shift. En S. Strauss (ed.), *Ontogeny, phylogeny and historical development*. Norwood, N. Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Wittgenstein, L. (1953): *Philosophical investigations*. Nueva York: Mc-Millan.
- Yarroch, W. L. (1985): Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-459.
- Yates, J; Bessman, M; Dunne, M; Jertson, D; Sky, K y Wendelboe, B. (1988): Are conceptions of motion based on a naive theory or on prototypes? *Cognition*, 29, 251-275.



Ministerio de Educación y Ciencia

Secretaría de Estado de Educación

Dirección General de Renovación Pedagógica
