

INFORMES Y DOCUMENTOS

ANÁLISIS DE UNA PRUEBA DE EVALUACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA, DIRIGIDA A ALUMNOS DE DOCE A TRECE AÑOS (1)

JOSÉ HIERREZUELO MORENO (*)
TERESA PRIETO RUZ (**)
JUAN BULLEJOS DE LA HIGUERA (***)
EDUARDO MOLINA GONZÁLEZ (*)

INTRODUCCIÓN

La necesidad de dedicar atención al estudio de las propiedades físicas de la materia en los primeros años de la enseñanza secundaria (ESO) está ampliamente recogida en las disposiciones oficiales que regulan los contenidos obligatorios para el área de CCNN en la ESO: «El estudio de la materia y sus propiedades, desde un punto de vista esencialmente descriptivo y fenomenológico se considera básico y previo al de otros conceptos más abstractos...» (pág. 116 DCN ESO I). En el bloque de contenidos: «El primer apartado incluye aspectos relacionados con el conocimiento de las propiedades fundamentales de la materia que, mostrando inicialmente su gran diversidad, deben conducir a plantearse la existencia de modelos que lleven a la idea de unidad de la misma»: (pág. 121 DCB ESO I).

El modelo cinético-molecular, aún en un nivel muy elemental, proporciona un conjunto de ideas con capacidad estructurante para relacionar y dar coherencia a un amplio conjunto de hechos muy cercanos a las experiencias cotidianas de los alumnos (Brian, Lynch y Reesink, 1989; Furió, 1983; Furió y Hernández, 1987; Stavy y Stachel, 1985; Stavy, 1991; Sèré, 1986). Tiene un gran poder explicativo y su campo de aplicación abarca todas las ramas de la ciencia (Doran, 1972; Briggs y Holding, 1986; Stavridou y Sominoudu, 1989). Un alto nivel de

(1) El presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación educativa aprobado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía a través del Instituto Andaluz de Formación y Perfeccionamiento del Profesorado.

(*) I. B. Reyes Católicos, Vélez-Málaga.

(**) Facultad de Educación, Universidad de Málaga.

(***) I. B. Albaycín, Granada.

apropiación del modelo cinético-molecular es requisito imprescindible para construir y diferenciar nociones básicas, tales como masa, volumen, densidad, conservación de la masa, cambio físico, cambio químico, etc. Como teoría, permite ilustrar el proceso de construcción del conocimiento científico y los significados y limitaciones de las teorías y los modelos. Además, puede ser considerada en principio de una forma lo suficientemente simple como para ser comprendida y utilizada por los alumnos y ser desarrollada progresivamente de manera que colabore al progreso de los niveles de razonamiento de los mismos.

Si bien existe consenso en la conveniencia de introducir la teoría cinético-molecular en el estudio de la naturaleza y propiedades físicas de la materia, diferentes investigaciones han venido poniendo de manifiesto escasos rendimientos y dificultades a la hora de conseguir que los alumnos capten el significado de las hipótesis básicas de la teoría y las apliquen a la interpretación de los cambios físicos (Novick y Nussbaum, 1978 y 1981; Brook, Briggs y Driver, 1984; Gabel y Samuel, 1987; Llorens, 1988 y 1991, Gentil, Iglesias y Oliva, 1989; Mitchell y Kellington, 1982), siendo ésta una problemática que se viene arrastrando hasta alumnos de niveles avanzados y adultos (Birnie, 1989).

Las explicaciones de los malos resultados obtenidos han puesto el acento en diferentes aspectos del problema, incidiendo en que la causa fundamental radica en la dificultad intrínseca de esas tareas para niños que no tienen el nivel de desarrollo mental que se requiere para llevarlas a cabo (Shayer y Adey, 1984). Sin embargo, es de destacar que los materiales utilizados en el proceso de enseñanza-aprendizaje que habían seguido esos alumnos no parece que hubiesen sido diseñados teniendo en cuenta las dificultades reveladas a través de las investigaciones.

Dada la necesidad de incluir un modelo interpretativo como el de la teoría cinético-molecular en el estudio de la naturaleza de la materia a estas edades, y tras conocer resultados alentadores obtenidos por Berkheimer, Anderson y Blakeslee (1990), junto a observaciones cualitativas realizadas durante el empleo de materiales previos, hemos elaborado una unidad didáctica que contempla la descripción de las propiedades físicas de la materia y su interpretación mediante un modelo teórico elemental. El presente trabajo describe los resultados de la evaluación de su empleo con alumnos de doce-trece años.

CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Por muchos autores y desde diversos ángulos (Driver, 1985; Gil, 1991; Hierrezuelo y Montero, 1991; Osborne y Freyberg, 1985) se ha señalado aspectos negativos de la práctica escolar que es necesario corregir:

- a) El tipo de enseñanza, que enfatiza en exceso la acumulación de conocimientos y valora más la cantidad que la calidad del mismo.

- b) No dedicar suficiente atención al papel de los procesos de aprendizaje de los alumnos por creer que el aprendizaje puede producirse por asimilación de la información correctamente presentada, es decir, el uso exclusivo de un modelo de enseñanza-aprendizaje por transmisión verbal centrada en el profesor.
- c) Considerar que el aprendizaje de conceptos, teorías..., es un acontecimiento localizado en el tiempo y producido como respuesta a una serie de actividades en vez de considerarlo como un proceso de desarrollo progresivo y multidimensional que requiere períodos largos de tiempo.

El diagnóstico de estos factores como posibles causantes de problemas aconseja el diseño de nuevas estrategias a fin de eliminar su influencia. No es éste el lugar para hacer una descripción pormenorizada del modelo de enseñanza-aprendizaje en el que se inscriben los materiales elaborados, cuyas características pueden verse en otros trabajos (Gil *et al.*, 1991; Driver, 1986; Hierrezuelo *et al.*, 1990; Bullejos, *et al.*, 1992), por lo que sólo indicaremos aquí los más relevantes:

1) El aprendizaje es el resultado de un proceso individual de elaboración de conocimientos, en el que juega un papel muy importante la interacción con otras personas. Los alumnos son responsables de su propio aprendizaje. Son factores fundamentales sus conocimientos o ideas, sus actitudes y su disposición hacia el nuevo conocimiento.

2) Estas ideas, junto con habilidades y procesos de tipo mental y práctico que el alumno posee y que pone en juego con el trabajo de clase, inciden en el tipo de relaciones que establece entre lo conocido y lo nuevo, que determinan la significatividad o no de ese aprendizaje que puede implicar procesos de cambio conceptual.

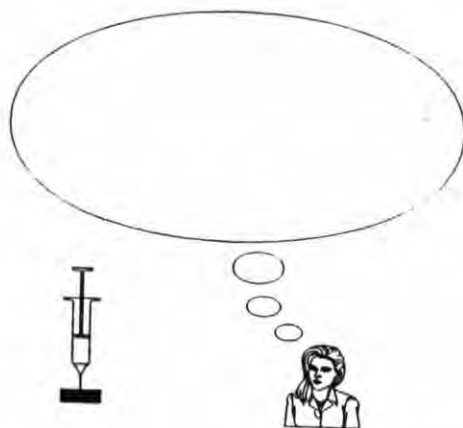
3) El cambio conceptual, entendido no como la sustitución de la idea previa por la idea aceptada por la ciencia sino como la capacidad de los alumnos para delimitar en qué circunstancias son válidas unas y otras, requiere un cambio metodológico que proporcione a los alumnos la posibilidad de la adquisición de conceptos en un entorno parecido a como se desarrolla el pensamiento científico, pasando de las certezas aparentes a pensar en términos de hipótesis que deben ser contrastadas y precisadas.

En este sentido y relacionado con el tema que nos ocupa, la inclusión de objetivos que se refieren al modo de construcción de los conocimientos científicos nos parece no sólo aconsejable como una información más, sino imprescindible desde el momento que ayudan a comprender el significado mismo de los conceptos científicos incluidos en el tema. Una parte importante de la dificultad que encuentran los alumnos para que les resulte inteligible la teoría cinética puede residir en que no se insiste lo suficiente en lo que significa una teoría científica,

especialmente la diferencia entre los elementos de una teoría y los fenómenos que intenta explicar.

El pensamiento de los alumnos está dominado por la percepción más directa. Esto explica que asignen propiedades macroscópicas a las moléculas. Esas ideas pueden incluso ser afirmadas por una enseñanza no cuidadosa; así, cuando se hace una presentación de las moléculas como la parte más pequeña a la que puede llegarse por un procedimiento de división sucesiva, el alumno puede inferir que ese trozo más pequeño tiene las mismas propiedades que el trozo grande de donde procede (Llorens, 1988). Nuestra propuesta ha pretendido evitar ese problema, insistiendo en el carácter *imaginario* de las teorías científicas, subrayando que las teorías son *invenciones de la mente humana*, y que su bondad se deriva de lo fructíferas que sean para explicar los hechos observados, o para predecir hechos nuevos antes de ser observados. Para resaltar el *carácter imaginario* de las teorías presentamos las preguntas sobre la interpretación según la teoría cinético-molecular, pidiendo siempre que dibujen cómo *se imaginan* las moléculas, en lugar de cómo se verían las moléculas con unas «gafas mágicas», como se hace en otras propuestas didácticas (Berkheimer, Anderson, Lee y Blakeslee, 1990); Lee y Blakeslee, 1990); Lee *et al.*, 1990). Hablar de gafas, aunque sean mágicas, supone dar a las moléculas el *status* de algo pequeño, pero con las mismas características de las cosas macroscópicas que podemos ver a simple vista. Por el contrario, al pedir que dibujen cómo *se imaginan* las moléculas, estamos insistiendo en el carácter hipotético de las teorías. A título de ejemplo reproducimos una actividad en la que se ilustra lo que queremos decir:

Tenemos una jeringa llena de aire con el extremo tapado para que no se salga. Dibuja cómo te imaginas que está constituido el aire.



Hacer explícitas las diferencias que hay entre las teorías y los hechos que aquéllas interpretan no asegura que todos los alumnos comprendan ese aspecto tan importante, pero es evidente que reflexionar sobre el significado y el papel que juegan las teorías permite comprender mejor por qué las moléculas no tienen propiedades macroscópicas, la existencia del vacío o el movimiento continuo de las moléculas.

Insistimos mucho en diferenciar las dos maneras en las que los científicos explican las cosas, la descripción de esas observaciones según la teoría cinético-molecular. Repetir en numerosas ocasiones esa situación contribuye a la comprensión de la idea global que se pretende: la diferencia entre lo que es una teoría y lo que es la descripción de un fenómeno que se puede observar directamente o a través de los instrumentos adecuados.

La unidad didáctica y las sugerencias metodológicas se encuentran en Bullejos y otros (1992). Una descripción muy esquemática de los temas tratados es la siguiente:

- Definición de materia y estados de agregación en los que se presenta.
- Comportamiento macroscópico de las sustancias en estado gaseoso (difusión, compresión, expansión) y su interpretación con la teoría cinético-molecular.
- Conservación de la materia y de la masa en los cambios físicos.
- Hipótesis básicas de la teoría cinético-molecular: constitución molecular de la materia, tamaño de las moléculas, movimiento continuo de las mismas, espacio vacío entre moléculas.
- Presión de una sustancia en estado gaseoso y factores que le afectan; interpretación con la teoría cinético-molecular.
- Efecto de los cambios de temperatura en el volumen de las sustancias (dilatación y contracción) de los estados sólidos, líquido o gaseoso e interpretación de los mismos con la teoría cinético-molecular.
- Cambios de estados de agregación: temperatura constante y conservación de la masa. Interpretación con ayuda de la teoría cinético-molecular.
- El ciclo del agua en la naturaleza: evaporación, condensación.
- Naturaleza material de los olores e interpretación con la teoría cinético-molecular.

Es necesario comentar una de las simplificaciones didácticas que hemos creído conveniente introducir: la de considerar que todas las sustancias están formadas por moléculas, sin diferenciar entre las verdaderamente formadas por moléculas, las constituidas por iones, los sólidos atómicos o los metales. Nuestra experiencia nos indica que en una etapa inicial no es procedente diferenciar entre los diversos tipos de sustancias según su estructura particular, lo que podrá hacerse en cursos posteriores. La elección del término *molécula* en lugar de uno más ambiguo, como *partícula*, para evitar la introducción de un error en la denominación, se hizo para evitar la posibilidad de confundir las partículas

macroscópicas (motas de polvo, etc.) con las partículas que formarían parte del modelo. Nos parece que el uso de la palabra molécula, relativamente extraña al lenguaje de los alumnos, contribuye a diferenciar claramente los dos niveles que queremos: el de la descripción de las observaciones y el de la interpretación.

En cuanto a la metodología seguida en el proceso de enseñanza-aprendizaje juega un papel fundamental la discusión entre los alumnos, distribuidos en grupos de cuatro, de las actividades recogidas en sus cuadernos de clase y que son de diverso tipo: observación y descripción de algún fenómeno, formulación de hipótesis, aplicación de las hipótesis para explicar algún fenómeno, etc., seguidas por una puesta en común para el conjunto de la clase en la que, con la ayuda del profesor o profesora, se reformulan las ideas expresadas por los alumnos y se llegan a conclusiones que puedan ser comprendidas y aceptadas por ellos.

ASPECTOS EVALUADOS

Se ha pretendido evaluar si los materiales que constituyen la unidad didáctica: *Naturaleza de la materia: cambios físicos*, son adecuados en tanto que permitan a la mayoría de los alumnos de doce y trece años:

- Conseguir una comprensión adecuada de un conjunto de fenómenos físicos que experimenta la materia, en cualquiera de sus tres estados de agregación cuando cambia la temperatura y/o la presión: expansión, compresión, dilatación, contracción, fusión, evaporación, etc.
- Alcanzar una comprensión adecuada de las hipótesis básicas de la teoría cinético-molecular que les permita aplicarlas para explicar los fenómenos anteriormente mencionados. En ese sentido, estamos especialmente interesados en comprobar en qué grado podrían superarse algunas de las dificultades de aprendizaje que la investigación didáctica previa había mostrado como más frecuentes y persistentes.
- Mantener el aprendizaje realizado de forma que pueda ser considerado significativo y no una memorización mecánica.
- Conseguir los objetivos anteriores en unas condiciones materiales normales, de forma que sea lícito pensar que podrían reproducirse en otra aula en la que se cumplieren unos requisitos mínimos.

Por ello, la aplicación de esos materiales se hizo en colegios que recibían alumnado de un nivel socioeconómico y cultural medio bajo, las sesiones de clase eran las que correspondían a la programación general de la asignatura de naturaleza en 7.º EGB (curso equiparable a 1.º ESO), dentro del horario normal de clase y por los profesores habituales de esos alumnos. Éstos habían recibido pre-

viamente un curso de formación en el que se desarrolló la unidad y se trataron las principales dificultades conceptuales y la metodología que se iba a utilizar. El tiempo dedicado al desarrollo de la unidad estuvo limitado por la necesidad de cumplir la programación general de la asignatura y osciló entre 22 y 26 horas, incluyendo en el mismo la realización y corrección de las pruebas.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA PRUEBA

Dado que se trataba de determinar si un porcentaje elevado de alumnos había adquirido los conocimientos propuestos, era necesaria una prueba que pudiese administrarse a todos los alumnos y que al mismo tiempo abarcara un amplio número de conceptos.

Se diseñó una prueba de lápiz y papel, en la que se utilizaron cuestiones de diverso tipo referidas a situaciones que pudiesen resultar conocidas por los alumnos. Algunas cuestiones pedían predicciones sobre lo que podía ocurrir, explicaciones de por qué podía ocurrir ese fenómeno, interpretación de fenómenos con la teoría cinético-molecular, realización de dibujos para explicar la estructura de una sustancia, etc. En el apéndice están recogidas algunas de esas cuestiones.

En la confección de la prueba se siguieron los siguientes pasos:

- a) Se elaboró una batería de preguntas que trataban todos y cada uno de los aspectos relevantes del tema. Estas preguntas iban acompañadas de un informe en el que constaba el objetivo que pretendía evaluar, así como el criterio de corrección que se debería utilizar.
- b) Se realizó un análisis de las preguntas propuestas por un grupo de expertos que enjuiciaron la validez de cada una, teniendo en cuenta la adecuación de la misma a lo que se quería medir y a la capacidad de comprensión lectora de los alumnos.
- c) Se distribuyeron las preguntas en tres pruebas que se podían cumplimentar adecuadamente en una hora, tiempo máximo aconsejable. El conjunto de las pruebas cubrían todos los temas que se pretendía valorar. Además, había varias preguntas dedicadas a cada objetivo, de modo que se pudiera tener en cuenta la influencia de la presentación de la pregunta en los resultados conseguidos.
- d) Una vez confeccionadas las pruebas se pasaron a una población reducida, que el año anterior había utilizado la unidad, para comprobar que las preguntas eran adecuadas tanto en su comprensión como en la posibilidad de que las respuestas permitieran obtener la información que se pretendía, como igualmente para tener constancia del tiempo necesario para cumplimentarla.

- e) A partir de los datos obtenidos se realizaron las modificaciones oportunas y se realizó una segunda prueba piloto. Teniendo en cuenta las informaciones recogidas en las etapas anteriores, se hizo la redacción definitiva de las pruebas.
- f) Realización de las pruebas a los alumnos: las pruebas se pasaron al terminar el tema, como un control normal al final de cada unidad didáctica, con el valor académico que cada profesor concede a los controles.

A cada clase se le hicieron dos pruebas diferentes de las tres posibles. Se llevó a cabo en el horario normal de clase, con la presencia del profesor de ese grupo de alumnos y de uno de los firmantes del artículo, para asegurar que todos los alumnos recibían la misma información, restringida exclusivamente a alguna aclaración sobre la redacción de alguna pregunta. La mayoría de los alumnos cumplieron la prueba en un tiempo inferior a 60 minutos, pero si alguno necesitaba unos minutos adicionales para terminar, disponía de ese tiempo sin presión alguna para que acabara.

Las pruebas se volvieron a realizar a principios del mes de junio, transcurriendo entre ambas ocasiones un mínimo de tres meses. En la tabla siguiente se recoge una descripción detallada del número de alumnos que contestó a la prueba en cada ocasión.

fecha	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
	alumnos	grupos	alumnos	grupos	alumnos	grupos
Febrero	96	8	108	9	84	7
Junio	94	8	83	8	76	7

- g) Corrección de las pruebas: se estableció un protocolo de corrección, en el que se detallaron exhaustivamente todos aquellos aspectos que se debían tener en cuenta para cada una de las cuestiones.

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se describen los resultados referentes a algunos de los aspectos considerados fundamentalmente, en relación a los objetivos definidos al principio. El resto será objeto de trabajos posteriores.

El contenido de las tablas muestra las respuestas de los alumnos y se indica entre paréntesis la pregunta relacionada que puede consultarse en el anexo. Los números se refieren a los porcentajes de alumnos que dan esa respuesta en las dos ocasiones en las que se pasó la prueba.

El aire pesa

Un de las ideas fundamentales es la de adquirir conciencia de que los gases pesan (o tienen masa) (3). La gran mayoría de los alumnos tienen claro que el aire pesa, como podemos observar en la Tabla I. En las explicaciones que dan aluden claramente a que el aire pesa o a que hay más aire. También se debe señalar que un porcentaje significativo de alumnos se refieren en su explicación a las moléculas, aunque en la pregunta no se hacía mención a las mismas.

TABLA I

	Febrero	Junio
Un colchón de playa pesa MÁS cuando está inflado que cuando está desinflado (Pregunta 1)	81,5	80,8
<i>Porque hay más aire o el aire pesa</i>	(71,3)	(67,5)
<i>No dan explicación</i>	(10,2)	(13,3)
El peso del aire contenido en un frasco es MAYOR cuando se meten 200 cm ³ de aire (Pregunta 6.2)	82,1	80,3
<i>Porque hay más aire</i>	(48,8)	(46,1)
<i>Porque hay más moléculas</i>	(23,8)	(32,9)
<i>Las moléculas pesan</i>	(17,9)	(7,9)
<i>El aire pesa</i>	(8,3)	(14,5)

El aire ocupa lugar

La redacción de las preguntas incide en el tipo de explicación que dan los alumnos. En el caso del colchón (pregunta 2) muchos indican que es el aire al salir lo que impide que entre el agua, siendo muy pocos los que dicen eso cuando se trata de explicar por qué no entra agua dentro de una cantimplora cuando se

(2) En la unidad no se trata la diferencia entre masa y peso. Esa distinción nos parece materia más adecuada para cursos superiores, cuando se estudie la ley de la gravitación. En la unidad objeto de estudio se considera a la masa (o el peso) como aquella magnitud que se mide con la balanza.

sumerge totalmente. Es posible que muchos alumnos hayan visto cómo se ha desinflado un colchón de playa y hayan observado salir el aire, mientras que ese efecto no se observa con tanta claridad al abrir una cantimplora. Entre las respuestas incorrectas cabe señalar aquellas que dicen que la cantimplora no se llena porque el aire no entra en la misma. La observación de estos alumnos es incorrecta ya que no creen que la causa sea la existencia en el interior de la cantimplora de aire, sino que buscan la causa en la imposibilidad de que entre aire por estar tapada la boca con el agua.

TABLA II

	Febrero	Junio
El aire impide que entre el agua en el colchón de playa cuando éste se pincha (Pregunta 2)	85,2	90,4
<i>Porque hay aire dentro</i>	(50,0)	(55,5)
<i>Porque el aire al salir empuja</i>	(35,2)	(34,9)
El aire impide que entre el agua en una cantimplora cuando se sumerge totalmente dentro del agua (Pregunta 3)	84,5	82,9
<i>Porque hay aire dentro</i>	(84,5)	(81,6)
<i>Porque el aire al salir empuja</i>	(0,0)	(1,3)

Diferencian claramente entre peso y volumen

Diferenciar claramente entre las magnitudes básicas peso (o masa) y volumen es necesario para poder entender la descripción más elemental de la naturaleza de la materia. Se ha encontrado que no siempre es una capacidad alcanzada por un alto porcentaje de alumnos (Bullejos y Sampedro, 1990). Varias preguntas incidían sobre ese tema referidas a la dilatación o a la contracción del gas contenido en una jeringa. En la Tabla III se resumen los resultados, siendo notable que un porcentaje cercano al 90 por 100 interpretara correctamente que, aunque aumente o disminuya el volumen ocupado por el aire, la cantidad de aire sigue siendo la misma y tampoco cambia el peso. Los porcentajes de respuestas correctas siguen siendo altos en el caso de la expansión de un gas, aunque sean un poco menores que los obtenidos en las preguntas anteriores.

Los resultados son inferiores cuando en la redacción de la pregunta se incluyen datos numéricos. Así, en la pregunta 6, que se refiere a un bote rígido cuyo volumen es de 500 cm³, en el que se introducen otros 200 cm³ de aire, el 61,9 por 100 de los alumnos analizó correctamente la situación, indicando que el volumen es el mismo mientras que aumenta el peso, pero el porcentaje dis-

minuyó hasta el 48,7 por 100 cuando se volvió a pasar la prueba, indicio de que es algo que plantea serias dificultades. Un estudio más detallado de las respuestas muestra que la mayor parte de los errores se cometen al decir que el volumen es mayor después de meter los 200 cm³, mientras que el porcentaje de error es mucho menor cuando se analiza el efecto que tiene sobre el peso (ver datos en la Tabla I).

TABLA III

	Febrero	Junio
Hay la misma cantidad de aire aunque haya aumentado el volumen ocupado por el mismo (Pregunta 4.2)	97,9	96,8
<i>Porque no ha entrado ni salido aire</i>	(30,2)	(18,1)
<i>Porque el aire (o las moléculas) se ha separado</i>	(52,1)	(66,0)
<i>Porque hay el mismo número de moléculas</i>	(9,4)	(9,6)
El aire pesa lo mismo aunque aumente el volumen (Pregunta 4.3)	90,6	94,7
<i>Porque no ha entrado ni salido aire</i>	(30,2)	(36,2)
<i>Porque el aire (o las moléculas) se ha separado</i>	(25,0)	(22,3)
<i>Porque hay el mismo número de moléculas</i>	(30,2)	(27,7)
Responden correctamente a ambos apartados	87,5	92,6
Cuando se contrae el aire de una jeringa disminuye el volumen pero hay la misma cantidad de aire y éste pesa lo mismo (pregunta no incluida en el apéndice, similar a la 4, pero referida a una contracción)	88,1	90,1
Cuando un gas se expande aumenta el volumen, pero no cambia el peso del gas contenido en el recipiente (pregunta 7.3.A y 7.3.B)	61,9	72,4
Si metemos más aire en un recipiente rígido el volumen que ocupa el aire sigue siendo el mismo mientras que aumenta el peso del aire contenido en el recipiente (preguntas 6.1 y 6.2)	61,9	48,7

Los gases no tienen forma ni volumen propio sino los del recipiente que los contiene

Los resultados difieren en función del tipo de tarea propuesta a los alumnos. Si se trata de dibujar cómo están distribuidas las moléculas de un gas son muy pocos los que no dibujan las moléculas distribuidas homogéneamente ocupando

todo el recipiente en el que están contenidas (los porcentajes de error son siempre inferiores al 10 por 100). Sin embargo, cuando la pregunta incluye datos numéricos en su enunciado, los porcentajes de acierto disminuyen acusadamente, quedando reducidos a aproximadamente la mitad de los alumnos (Tabla IV). Las respuestas pueden ser fruto de un operativismo mecánico claramente perceptible en la explicación siguiente: *Si había 50 cm³ de gas y sacamos 10 cm³ quedarán 40 cm³ ya que 50 - 10 = 40*, respuesta típica entre los que analizan erróneamente la pregunta 5.2 (alrededor del 30 por 100 de los alumnos dan esa respuesta). Los resultados son algo mejores en la pregunta 6, que también incluía datos numéricos en su enunciado, quizá porque en ese caso se pedía que hicieran una comparación entre el volumen inicial y el final, no que dijese exactamente cuál era el volumen final. Ese tipo de pregunta no induce tanto a que se hagan las operaciones matemáticas, pero aún así, los resultados no fueron tan buenos como en otras cuestiones.

TABLA IV

	Febrero	Junio
El volumen que ocupa el aire contenido en un bote de 50 cm ³ después de haber sacado 10 cm ³ sigue siendo 50 cm ³ (Pregunta 5.2)	42,6	51,8
<i>Porque los gases ocupan todo el recipiente</i>	(24,1)	(31,3)
<i>Porque los gases se expanden</i>	(11,1)	(9,6)
<i>Porque los gases no tienen volumen propio</i>	(2,8)	(3,6)
Dibujan las moléculas que quedan después de haber sacado los 10 cm ³ de aire ocupando todo el recipiente (Pregunta 5.1)	87,9	97,6
El volumen del aire contenido en un frasco de 500 cm ³ sigue siendo el mismo aunque introduzcamos otros 200 cm ³ de aire (Pregunta 6.1)	67,9	55,3
<i>Porque el recipiente es rígido</i>	(32,1)	(26,3)
<i>Las moléculas están más juntas</i>	(11,9)	(17,1)
<i>El aire estará más comprimido</i>	(19,1)	(10,5)
<i>El volumen no cambia, cambia el peso</i>	(9,5)	(3,9)
<i>El aire que entra se difunde en el otro</i>	(2,4)	(2,6)

Espacio vacío entre moléculas

La aceptación del vacío resulta muy difícil para los alumnos, como ha sido puesto de manifiesto en numerosas ocasiones. Pueden admitirlo nominalmente,

diciendo que la materia está compuesta de moléculas (o átomos) y de vacío, pero es muy posible que lo que entiendan los alumnos diste mucho de ser el vacío que se debe suponer en la teoría cinético-molecular. Incluso es posible que dibujen las moléculas separadas unas de otras, pero si se les pregunta qué hay entre esas moléculas puede que digan que hay más moléculas, aire u otras cosas. En la pregunta 8.2 se les pidió que indicaran lo que hay en los huecos entre moléculas del hierro, dando una serie de opciones y entre ellas la de otra respuesta, para que no se vieran limitados por las que les habíamos propuesto.

Las respuestas correctas, aun estando cercanas al 60 por 100 y siendo superiores a los datos presentados por otros autores (Novick y Nussbaum, 1981; Brook *et al.*, 1984; Llorens, 1988 y 1991), muestran la dificultad de conseguir este objetivo. Incluso resulta curioso que algunos alumnos (alrededor del 6 por 100), escogen la opción *e*) indicando que hay espacio vacío en lugar de escoger la opción *c*) en la que se dice que entre molécula y molécula no hay nada. Parece que ese *nada* les impresiona demasiado. Incluso, un pequeño porcentaje (alrededor del 3 por 100), escogen la opción *c*) y además la opción *e*) indicando en ésta que hay espacio vacío.

Resulta interesante señalar que más de un 20 por 100 de los alumnos indican que entre molécula y molécula de hierro hay aire. Éstos, junto con los que dicen que hay más moléculas de hierro, no perciben la idea de vacío como ausencia de materia.

TABLA V

	Febrero	Junio
En los huecos que hay entre las moléculas de hierro no hay nada o hay espacio vacío (Pregunta 8.2)	65,6	64,9
Entre las moléculas de hierro hay aire	21,9	20,2
Entre las moléculas de hierro hay más moléculas de hierro	10,4	9,6
En los huecos que hay entre las moléculas de mercurio no hay nada o hay espacio vacío (Pregunta similar no incluida en el apéndice)	48,8	57,9
Entre las moléculas de mercurio hay aire	32,1	22,4
Entre las moléculas de mercurio hay moléculas de mercurio	14,3	15,8

Tamaño relativo de las moléculas

Aun reconociendo la dificultad de que los alumnos capten el tamaño «real» de las moléculas se ha pretendido que adquieran la idea relativa de su pequeño

tamaño en referencia a otras partículas sólo visibles con microscopio, es decir, que no las confundan con pequeñas partículas macroscópicas tales como motas de polvo, células, microbios, etc.

Los resultados (Tabla VI) muestran que un porcentaje alto de alumnos logran adquirir la idea de que las moléculas son muy pequeñas y no las confunden con partículas macroscópicas. En la pregunta 9 hubo un porcentaje significativo de respuestas (alrededor del 10 por 100) que fueron clasificadas como erróneas ya que decían que lo que se ve en el microscopio sí son moléculas de sangre o el pequeño trozo de polvo también es una molécula de polvo pero que lo argumentaban diciendo que todo está constituido por moléculas. Hubiera sido necesario entrevistar a esos alumnos para saber si su respuesta indicaba una incomprensión del tamaño relativo o era sólo una confusión en la interpretación de la pregunta. Dado que no se pudieron hacer esas entrevistas, hemos optado por clasificarlas como respuestas incorrectas, aunque creemos que en algunos casos serían sólo dificultades en la expresión.

TABLA VI

	Febrero	Junio
Dicen que en la cabeza de un alfiler caben más de un millón de moléculas, o billones o trillones (Pregunta 8.1)	78,1	83,0
Lo que se ve cuando miramos una gota de sangre a través del microscopio no son moléculas de sangre (Pregunta 9.1)	44,4	62,7
<i>Las moléculas no se pueden ver con un microscopio . .</i>	<i>(38,0)</i>	<i>(49,4)</i>
<i>Son globulos rojos o blancos, etc.</i>	<i>(7,4)</i>	<i>(24,1)</i>
<i>No son moléculas, están formadas por muchas moléculas</i>	<i>(6,5)</i>	<i>(2,4)</i>
Los pequeños trozos que se ven flotando en el aire no son moléculas de polvo (Pregunta 9.2)	50,9	73,5
<i>Las moléculas son tan pequeñas que no se ven</i>	<i>(28,7)</i>	<i>(37,4)</i>
<i>Están formadas por muchas moléculas</i>	<i>(21,3)</i>	<i>(43,4)</i>
<i>No son moléculas, son partículas de polvo</i>	<i>(11,1)</i>	<i>(7,2)</i>

Las moléculas no tienen propiedades macroscópicas

Otras de las dificultades que tienen los alumnos es diferenciar entre lo que son las propiedades macroscópicas de la materia: dureza, color, conductividad, punto de fusión, etc., y las propiedades que se suponen a las moléculas, que en

la mayoría de los casos no coinciden con las propiedades macroscópicas de la materia. Los resultados (Tabla VII), son bastante alentadores. La mayoría de alumnos dice que las moléculas de hierro no son más duras que las del alcohol. Para explicar la diferencia entre la dureza del hierro y la del alcohol casi la mitad de los alumnos argumenta que es debido a que las moléculas están más juntas en el hierro que en el alcohol, mientras que un porcentaje menor dice que la dureza mayor se debe a que la atracción entre las moléculas es más fuerte. También es destacable que sólo el 21 por 100 en febrero (reducido al 13 por 100 en junio) diga explícitamente que las moléculas de hierro sí son más duras que las de alcohol, porcentaje al que podemos añadir otro 6 por 100 que indica que las moléculas son iguales de duras, pero sin añadir nada que ponga de manifiesto que entienden que las propiedades macroscópicas no son aplicables a las moléculas.

Los resultados son bastante peores al comparar la densidad de las moléculas de oro y de hierro. El porcentaje de aciertos es muy bajo en febrero aunque resulta aceptable en junio, siendo explicable, a nuestro entender, la diferencia de resultados con la pregunta anterior porque la densidad es un concepto menos familiar para los alumnos que la dureza. Así, mientras que sólo el 5 por 100 de los alumnos no contestó a la pregunta referida a la dureza, ese porcentaje alcanzó el 14 por 100 en la pregunta referida a la densidad. Por otro lado, aunque el concepto densidad es aplicable al nivel macroscópico, también es aplicable al nivel molecular, pues las moléculas tienen masa y volumen, y por tanto, podría pensarse en que tienen una densidad. Esas consideraciones nos llevan a pensar que los resultados sobre esa pregunta no sean totalmente representativos de lo que queríamos comprobar.

En otras cuestiones se presentan cambios físicos como la fusión de una sustancia sólida o la expansión de un gas, y se pregunta si las moléculas sufren los mismos cambios físicos macroscópicos que experimentan las sustancias, como fundirse, aumentar o disminuir de tamaño, etc. Los porcentajes de aciertos a esas cuestiones son bastante elevados, siendo posible decir que tres de cada cuatro alumnos parecen comprender que a las moléculas no les son aplicables los mismos cambios que experimentan las sustancias que forman.

Movimiento continuo de las moléculas

El movimiento de las moléculas, en cualquiera de los estados de agregación en los que puedan presentarse las sustancias, es otra de las hipótesis básicas de la teoría cinético-molecular que resulta complicada de admitir por los alumnos. Además, a veces se confunde el movimiento de las moléculas con el movimiento macroscópico conjunto de todo el sistema.

Los resultados recogidos en la Tabla VIII ponen de manifiesto una alta apropiación de la idea de que las moléculas se están moviendo en todos los casos. Como resulta previsible, el porcentaje de acierto baja un poco cuando el estado

TABLA VII

	Febrero	Junio
Las moléculas de hierro NO son más duras que las moléculas de alcohol (Pregunta 10)	58,3	77,7
Las moléculas de oro NO son más densas que las de hierro (Pregunta 11)	28,6	53,9
Las moléculas NO se derriten (Pregunta 12.3.A)	82,4	90,4
Las moléculas NO aumentan de tamaño (Pregunta 12.3.D)	88,0	90,4
Las moléculas NO se vuelven líquidas (Pregunta 12.3.E) ...	62,0	77,1
Contestaciones correctas a los tres apartados conjuntamente	61,1	73,5
El tamaño de cada molécula NO cambia cuando el aire se expande (Pregunta 7.3.G)	83,3	89,5

de agregación de la sustancia es el sólido, como es el caso de una piedra, pero sigue siendo bastante alto y por tanto satisfactorio, ya que prácticamente cuatro de cada cinco alumnos tienen claro que las moléculas están moviéndose continuamente, aún en el caso de la piedra.

Como dato curioso, cabe citar que algunos alumnos consideran que vibrar no es lo mismo que moverse. Estos alumnos dicen que las moléculas están quietas, pero al mismo tiempo están vibrando. Aunque hemos considerado la respuesta como incorrecta, creemos que la mayoría de los alumnos que han dado este tipo de respuesta admite que las moléculas están moviéndose, siendo sólo un problema de expresión.

El resultado tan elevado en el caso del agua líquida creemos que puede ser debido a dos factores. Por un lado, que el agua es una sustancia a la que se hace referencia en muchas ocasiones, tanto a lo largo del tema como en otros momentos, y por otro, que en ese caso es posible que algunos alumnos hayan dicho que se mueven las moléculas inducidas por el movimiento macroscópico del agua líquida.

En conclusión puede decirse que cerca del 80 por 100 de los alumnos tienen asumido que las moléculas de todas las sustancias están en continuo movimiento. Es cierto que no se ha planteado el problema de cómo se mantienen en movimiento, de por qué no se paran las moléculas, lo cual resulta difícil de entender sin haber estudiado previamente los principios de la dinámica, pero ése es

un tema que se tratará en un curso posterior. Durante este año, si algún alumno plantea ese problema lo resolvemos indicando que es una propiedad que se supone a las moléculas.

TABLA VIII

	Febrero	Junio
Las moléculas del aire o de la piedra se mueven siempre y no se paran nunca o se paran en el cero absoluto (Responden correctamente a las cuatro cuestiones de la pregunta 13)	68,8	78,7
<i>Las moléculas del aire se mueven siempre</i>	(100,0)	(100,0)
<i>Las moléculas del aire no se paran nunca o sólo lo hacen en el cero absoluto</i>	(87,5)	(89,3)
<i>Las moléculas de la piedra se mueven siempre</i>	(79,2)	(78,7)
<i>(No se mueven, sólo vibran)</i>	(4,2)	(6,4)
<i>Las moléculas de la piedra no se paran nunca o sólo lo hacen en el cero absoluto</i>	(72,8)	(83,0)
Las moléculas de hielo se están moviendo o vibrando (Pregunta 14.1)	76,2	88,2
<i>Las moléculas de hielo están quietas, pero vibran</i>	(11,9)	(2,6)
Las moléculas de agua se mueven (Pregunta 14.2)	98,8	96,0

Dependencia de la velocidad de las moléculas con la temperatura y otros factores

Como podemos ver en la Tabla IX, los resultados son muy buenos cuando se trata de analizar la relación entre velocidad de las moléculas y la temperatura. Porcentajes superiores al 80 por 100 en casi todos los casos indican que ha sido admitida esa relación. Sin embargo, merece también ser destacado que la gran mayoría de los alumnos cree que la velocidad de las moléculas cambia también cuando se produce la expansión de un gas, suponiendo unos que la velocidad aumenta y aproximadamente la otra mitad, que la velocidad de las moléculas disminuye. Además, como dato que muestra la dificultad que supone superar esa idea está en que el porcentaje de alumnos que la mantienen en junio es superior al de febrero, siendo uno de los pocos apartados en lo que esto ha ocurrido. Creemos que a este aspecto concreto se le debe dedicar más atención en las clases, si queremos que los alumnos y alumnas lo asimilen correctamente.

TABLA IX

	Febrero	Junio
Las moléculas de agua caliente se mueven más rápidas que las moléculas del agua fría (Pregunta no incluida en el apéndice).....	62,5	84,0
Las moléculas de un metal caliente se mueven más rápidas que cuando está frío (Pregunta 15.D)	81,5	80,6
Las moléculas de mantequilla se mueven más rápidas cuando se calienta la mantequilla para derretirla (Pregunta 13.3.B).....	81,5	84,3
En la expansión de un gas el movimiento de las moléculas NO cambia (Pregunta 7.3.E)	17,9	15,8

También hemos analizado las alusiones a la velocidad de las moléculas en cuestiones en las que no se les pregunta explícitamente qué ocurre con la velocidad de las moléculas, sino que se pregunta de forma genérica sobre lo que ocurre a las moléculas cuando hay un determinado proceso. En la Tabla X está recogido el porcentaje de alumnos que relacionan correctamente la velocidad con la temperatura *de motu proprio*, en cuestiones en las que no se preguntaba directamente sobre dicha relación.

El porcentaje de alumnos que se refiere al movimiento de las moléculas de forma espontánea supone aproximadamente una tercera parte del total, es decir, uno de cada tres alumnos. Creemos que es un porcentaje bastante elevado, dado el tipo de redacción de las cuestiones, en las que se pregunta sobre qué ocurre a las moléculas en cada caso sin mencionar para nada la velocidad. Hay que tener en cuenta que la mayoría (más del 60 por 100) menciona que aumenta o disminuye la distancia entre moléculas cuando se produce una dilatación o una contracción del gas, respectivamente, y, ya que los alumnos tienden a considerar suficiente dar una explicación, no suelen añadir ninguna más.

Representación pictórica de la estructura molecular en los diferentes estados de agregación

En las pruebas se incluyen diversas preguntas en las que se pide que dibujen cómo se imaginan la forma en la que están las moléculas en diferentes situaciones (preguntas 4.1, 5.1 y 7.1 del apéndice, así como otras no incluidas en el mismo). También hay una cuestión dedicada exclusivamente a pedir

TABLA X

	Febrero	Junio
Las moléculas del aire caliente se mueven más rápidas que las del aire frío, cuando el aire sufre una dilatación (Pregunta 4.4.)	34,4	38,3
Las moléculas del aire caliente se mueven más rápidas que las del aire frío (Pregunta no incluida en el apéndice, referida al calentamiento isócoro del gas contenido en una jeringa)	38,5	31,9
Las moléculas del aire frío se mueven más lentas que las del aire caliente, cuando el aire sufre una contracción (Pregunta no incluida)	28,6	23,7

que se dibuje la estructura de una sustancia en los tres estados de agregación (Pregunta 16).

Dado que los dibujos no dependieron de la situación concreta a la que se referían, hemos agrupado todos los datos referidos al estado gaseoso en la Tabla XI. El número de dibujos analizado fue de 468 en febrero y de 423 en junio. En general, se observó la tendencia a dibujar las moléculas más juntas de lo que corresponde según la proporción existente entre la distancia entre moléculas y el tamaño de cada una. Hemos considerado que el criterio mínimo aceptable era considerar que las moléculas están separadas una distancia superior a tres veces su diámetro. Sólo un porcentaje ligeramente superior al 30 por 100, es decir, uno de cada tres alumnos dibujan las moléculas separadas por distancias superiores a tres diámetros moleculares, mientras que más de la mitad de los alumnos dibujan las moléculas separadas por distancias comprendidas entre uno y tres diámetros moleculares. Por otra parte, sólo el 10 por 100 dibuja las moléculas menores a un diámetro o en contacto unas con otras.

La figura 1 es representativa de los que dibujan las moléculas separadas más de tres diámetros, la figura 2 de los que las dibujan separadas entre uno y tres diámetros, mientras que la figura 3 corresponde a los que dibujan las moléculas muy próximas o en contacto.

Un análisis más detenido de los datos puso de manifiesto una estrecha relación entre los dibujos efectuados por los alumnos y el profesor que les había dado clase, encontrando grupos en los que más del 70 por 100 de los dibujos podían ser clasificados como correctos, mientras que en otros grupos ese porcentaje llegaba escasamente al 10 por 100. Algunos profesores reconocieron que



Figura 1

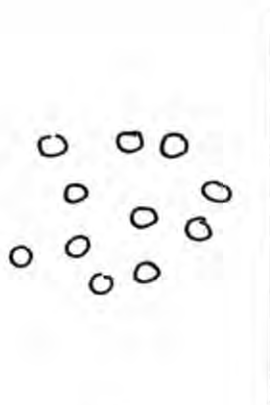


Figura 2



Figura 3

habían disminuido la proporción entre la distancia y el tamaño de la molécula llevados por el deseo de representar un número no demasiado pequeño de moléculas y haciendo los círculos grandes para que fuesen bien vistos por los alumnos que se colocan en la parte de atrás de la clase. Como resultado se obtenía una representación del estado gaseoso en el que la distancia entre moléculas era subestimada frente al diámetro de cada molécula.

Un estudio de los dibujos y transparencias que se habían hecho para la unidad puso de manifiesto que también reflejaban una minusvaloración de la distancia entre moléculas frente al tamaño de las mismas, si bien no tan acusado como el anterior.

Los resultados se ven muy afectados por el espacio que se ofrezca a los alumnos para que puedan hacer sus dibujos. Cuanto mayor es el espacio, más separadas pintan las moléculas, lo cual es lógico y correcto, pero no lo es tanto que dibujen las moléculas demasiado próximas (alrededor del 30 por 100 de los alumnos dibujan las moléculas con distancias menores a un diámetro molecular cuando el espacio disponible se hace menor).

Respecto a la representación de los estados sólido y líquido los resultados están recogidos en las Tablas XII y XIII. Los resultados indican que algo más de la mitad de los alumnos utiliza en sus dibujos una proporción que podemos considerar correcta, siendo los errores de distinto sentido en ambos estados. Así, en el estado sólido el error más frecuente es dibujar las moléculas en contacto, mientras que en el estado líquido los fallos provienen de dibujar las moléculas más alejadas de lo debido.

TABLA XI

Representación de las moléculas en el estado gaseoso

	Febrero	Junio
Distancia > 3 diámetros moleculares	33,8	31,5
Distancia comprendida entre 1 y 3 diámetros moleculares .	53,5	58,1
Distancias menores de 1 diámetro molecular	6,8	8,8
Moléculas en contacto unas con otras	2,0	1,2
Dibujan las moléculas desordenadas	94,1	92,3
Dibujan las moléculas del mismo tamaño	96,0	97,5
Dibujan las moléculas ocupando todo el recipiente	96,1	97,4
Dibujan una estructura continua	0,9	0,6

La figura 4 reproduce el dibujo de un alumno en el que pueden verse los errores más significativos. Moléculas en contacto en el sólido y muy separadas en el líquido, no representando una estructura demasiado ordenada en el sólido. La figura 5, reproduce un dibujo de los que podríamos llamar correctos: moléculas ordenadas en el sólido, desordenadas en el líquido, a distancias parecidas y pequeñas, pero sin estar en contacto.

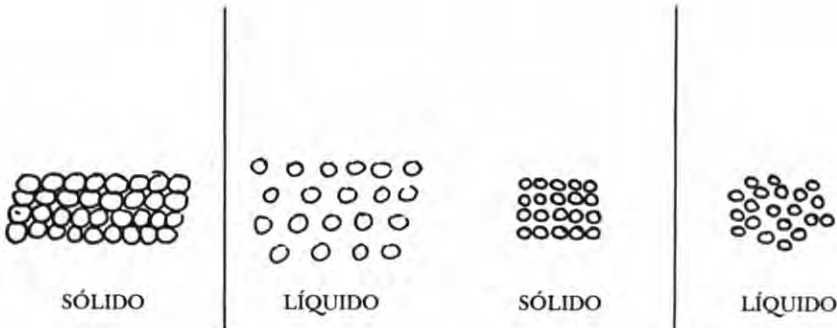


Figura 4

Figura 5

TABLA XII

Estado sólido

	Febrero	Junio
Distancia comprendida entre 0 y 1 diámetros moleculares, sin estar juntas	45,8	60,6
Dibujan las moléculas en contacto unas con otras	35,4	17,0
Dibujan las moléculas con una distancia superior a 1 diámetro	12,5	17,0
Dibujan las moléculas ordenadas	76,0	72,3
Dibujan una estructura continua	1,0	0,0

TABLA XIII

Estado líquido

	Febrero	Junio
Distancia comprendida entre 0 y 1 diámetros moleculares, sin estar juntas	52,1	50,0
Dibujan las moléculas en contacto unas con otras	6,3	2,1
Dibujan las moléculas con una distancia superior a 1 diámetro	35,4	43,6
Dibujan las moléculas desordenadas	82,3	93,6
Dibujan una estructura continua	4,2	0,0
Dibujan las moléculas más alejadas que las del sólido	55,2	41,5
Dibujan las moléculas más grandes que las del sólido	3,1	4,3

¿Qué es materia y qué está formado por moléculas?

Para los alumnos la existencia de la materia, la radiación y el vacío no tiene nada de evidente, e incluso, la diferencia entre la materia y ciertas propiedades de la misma se ve a menudo oscurecida por el lenguaje que se utiliza en los libros de texto y material de uso escolar; así, es fácil encontrar enunciados del tipo: *una masa de 3 kg es lanzada... o calcula la fuerza con la que se repelen dos cargas...*, en los que por la forma de estar redactados se están confundiendo propiedades de la materia con la materia misma.

En esta unidad didáctica se pretendía iniciar la diferenciación entre aquello que puede ser considerado materia y lo que no es materia. El criterio macroscópico que se utilizaba en la unidad es que puede ser considerado como materia todo aquello que ocupa un lugar en el espacio y tiene masa (o peso). A partir de ahí, todo aquello que es materia está formado por moléculas, y lo que no es materia no está formado por moléculas. Para comprobar si el objetivo se había conseguido se utilizaron las preguntas 17 y 18 que formaban parte de la misma prueba y se presentaban una a continuación de la otra, tal como se recogen en el apéndice.

La Tabla XIV resume los resultados que hemos creído más significativos. En las columnas segunda y tercera se recogen los porcentajes de respuestas correctas a las preguntas respectivas, referidas a cada una de las sustancias descritas en la columna primera. Por último, en la cuarta columna se han reflejado los porcentajes de respuestas coherentes, entendiendo como tales aquellas que indican que un sistema está formado por moléculas si previamente han dicho que el mismo sistema es material, o que dicen que no está formado por moléculas si previamente han dicho que no era materia.

El mayor porcentaje de aciertos se da al clasificar el acero y el agua como materia formada por moléculas. También la clasificación del aire arroja buenos porcentajes de aciertos. Donde se ha encontrado más dificultades es en el caso del olor a cebolla, no clasificado como sustancia material pero luego sí considerado como si estuviese formado por moléculas. Es posible que los alumnos

TABLA XIV

	¿Es materia?		¿Formada por moléculas?		¿Respuestas coherentes?	
	febrero	junio	febrero	junio	febrero	junio
El aire (Sí)	71,3	68,7	93,5	93,8	73,2	68,7
La luz (NO)	63,9	57,8	55,6	56,6	65,7	63,9
El humo (Sí)	62,0	54,2	87,0	80,7	65,7	61,5
El calor (NO)	63,9	66,3	50,0	59,0	60,2	63,9
El acero (Sí)	90,7	90,4	81,5	85,5	84,2	83,1
El agua (Sí)	79,6	77,1	90,7	85,5	78,7	79,5
El olor a cebolla (Sí)	28,7	27,7	66,7	66,2	46,3	49,4

hayan utilizado dos criterios diferentes: por un lado, han podido interpretar que el olor a cebolla no es materia al considerarlo como una sensación. Por otro, al responder si estaba formado por moléculas es posible que lo hayan considerado afirmativamente, pues para explicar la propagación del olor, es necesario suponer la difusión de las moléculas a través del aire. De todas formas, la incoherencia resulta llamativa y es característica del pensamiento de los alumnos, por lo que debemos insistirles en todas las ocasiones que se presenten para que intenten buscar la coherencias característica de la ciencia.

En cuanto al número de aciertos de cada alumno, aproximadamente el 30 por 100 de los alumnos clasifican coherentemente los siete sistemas, mientras que aproximadamente la mitad contesta coherentemente a seis o siete de los sistemas propuestos.

¿Qué son las moléculas?

El objetivo de la pregunta 19 era analizar aquellas características más citadas por los alumnos cuando tenían que escribir sobre las moléculas. No se pretendía buscar una definición literal y académica sobre el concepto de molécula, sino comprobar aquellos rasgos que son más asociados a ellas. En la Tabla XV se han recogido las características citadas por los alumnos y la frecuencia con lo que hacen. En este caso, los porcentajes suman más de 100 ya que cada alumno podía escribir tantas características como le pareciera oportuno.

Al analizar los resultados hay que tener en cuenta que no se pedía que escribieran un número determinado de rasgos. Ante este tipo de preguntas es frecuente que los alumnos se contenten con reflejar dos o tres ideas y no se esfuerzan en escribir más. Las características más citadas son las referidas: *a)* al pequeño tamaño de las moléculas, *b)* a que no pueden verse ni con los mejores microscopios, *c)* a que forman todas las sustancias y *d)* a que se mueven continuamente. También merece la pena señalar, aunque los porcentajes sean menores, la existencia de alumnos que se refieren explícitamente a que las moléculas no tienen propiedades macroscópicas. Por último, señalar que, aunque pocos, algunos dijeron que sólo la materia inerte estaba hecha por moléculas y también que el porcentaje de los que no contestan es superior al de la mayoría de las preguntas.

IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Aunque los datos recogidos en este artículo corresponden sólo a una parte de los objetivos que se pretendían en la unidad, podemos llegar a conclusiones referidas a esos puntos, e incluso llegar a otras más generales dado lo significativo de los aspectos analizados.

TABLA XV

	Febrero	Junio
Son partículas muy pequeñas	50,0	55,3
Forman todas las sustancias, sólidos, líquidos, gases	43,8	46,8
No pueden verse ni con los microscopios	26,0	22,3
Están en continuo movimiento	9,4	34,0
Son inventadas por los científicos	5,2	7,5
Tienen peso	2,1	5,3
Ocupan espacio	1,0	6,4
Existen fuerzas entre ellas	0,0	9,6
No tienen propiedades macroscópicas	0,0	10,7
Hay espacio vacío entre ellas	0,0	7,5
Sólo la materia inerte está hecha de moléculas	4,2	2,1
No contestan	12,5	11,7

1) Parece perfectamente posible incluir en el currículo de ciencias, para alumnos de 12 ó 13 años, una unidad en la que se trate cualitativamente el modelo cinético-molecular y se utilice en la explicación de una serie de cambios físicos.

2) Dado que el nivel social, cultural y económico de la mayoría de los alumnos participantes en la experiencia fue bajo, creemos que es lícito pensar que los resultados podrían ser generalizables si los materiales fuesen utilizados por alumnos de otros niveles socioculturales.

3) Los resultados aceptables pueden conseguirse sin necesidad de un gran despliegue de medios didácticos materiales, más propio de situaciones excepcionales que del trabajo diario en el aula, con todos los inconvenientes y limitaciones que este trabajo conlleva.

4) Parece que el profesorado puede acceder a un nivel de preparación adecuado para utilizar la nueva metodología y los nuevos materiales mediante un curso de formación, combinado con la aplicación en su propia clase. Tanto los participantes en la experiencia como los autores de este artículo, que dirigimos los cursos de formación, hemos valorado muy positivamente el intercambio de experiencias entre los profesores cuando ponen en práctica los nuevos materiales, tanto en lo que supone para la superación de los problemas que surgen en su aplicación como en el apoyo anímico ante una situación desconocida para ellos.

5) El hecho de que el profesorado que ha puesto en práctica los materiales no dispusiera de una especial preparación previa y que fueran seleccionados todos aquellos que mostraron deseos de participar permite considerar que la experiencia es generalizable a todos los profesores que tengan interés por su actualización didáctica, ofreciéndoles la posibilidad de un asesoramiento técnico a través de los CEPs y otros organismos similares.

6) Sin menospreciar la dificultad que presenta para los alumnos de 12 ó 13 años la comprensión y utilización de un modelo teórico y abstracto como el de la teoría cinético-molecular, los resultados obtenidos parecen poner de manifiesto que parte de esas dificultades pueden ser superadas con una enseñanza que preste atención, entre otras cosas, a diferenciar claramente entre lo que supone una descripción de las observaciones y lo que constituye una interpretación con ayuda de una teoría o un modelo, así como a promover el cambio metodológico en los alumnos en su forma de elaborar y validar el conocimiento.

7) El hecho de que los resultados sean mejores a los cuatro meses de haber terminado el tema que inmediatamente después de acabarlo permite pensar que el aprendizaje ha sido, en gran medida, significativo. En la permanencia e incluso mejora de los resultados han podido tener efecto las siguientes causas (amén de las ya citadas):

- a) El hecho de que en la metodología que se emplea se dé gran importancia a la corrección del control de cada tema convierte a estas pruebas en un elemento más de aprendizaje, de forma que los aprendizajes no terminan antes de hacer el examen sino después de haber sido corregido el mismo.
- b) Tras haber estudiado la unidad correspondiente a las propiedades y cambios físicos de la materia, los alumnos trabajaron con otra unidad sobre los propiedades químicas de la materia. Aunque los contenidos eran diferentes, se utilizó la misma metodología y, además, si no directamente, de forma indirecta, se recordaron las hipótesis básicas de la teoría cinético-molecular. De esa forma, se consigue tanto que la unidad tratada sirva de apoyo para el estudio de las propiedades químicas como que ésta refuerce los aprendizajes conseguidos en la anterior.

8) Realizando una valoración de los aprendizajes conseguidos, a los que nos hemos referido en este artículo, encontramos:

a) *Satisfactorios*

- El aire pesa y ocupa lugar.
- Diferenciar claramente entre peso y volumen.

- Los gases no tienen forma ni volumen propio, sino el del recipiente que los contiene (4).
- La existencia de vacío entre las moléculas. (Este objetivo lo consideramos satisfactoriamente cubierto aunque los porcentajes de respuestas correctas no sean tan altos como en otros, pero se debe tener en cuenta la dificultad que entraña, como ha sido puesto de manifiesto en numerosas investigaciones.)
- Las moléculas son muy pequeñas y no deben ser confundidas con pequeñas partículas macroscópicas.
- Las propiedades aplicadas a las sustancias en sentido macroscópico no son aplicables a las moléculas individualmente.
- Las moléculas están en movimiento continuo en cualquiera de los tres estados de agregación.
- La velocidad de las moléculas aumenta o disminuye cuando lo hace la temperatura de la sustancia. Es decir, existe una relación entre velocidad de las moléculas y la temperatura.

b) Podrían mejorarse, con una modificación de los materiales

- Insistir en que el único factor que afecta al movimiento de las moléculas es la temperatura, no influyendo en esa velocidad ni la distancia a la que se encuentren, ni la presión, ni ningún otro factor.
- Representación mediante dibujos de la disposición de las moléculas en los tres estados de agregación. Fundamentalmente, se deberá insistir en que la distancia entre moléculas en el caso de un gas es del orden de 10 diámetros moleculares. Para que se puedan hacer los dibujos, convendrá sugerirles que hagan los círculos representativos de las moléculas de pequeño diámetro o, si los dibujan de un diámetro un poco mayor, deberán representar muy pocas moléculas para que las distancias sean suficientes. También deberemos insistir en que las distancias entre moléculas en el caso de un líquido es aproximadamente la misma que en el de un sólido, consintiendo la diferencia entre ambos en que en el sólido las moléculas están ordenadas, mientras que en el líquido las moléculas están desordenadas.

(3) Hay que seguir insistiendo en el análisis de aquellas situaciones que presentan un carácter cuantitativo, intentando superar el operativismo mecánico.

- Insistir más en los criterios para clasificar si algo es o no un sistema material, así como en establecer claramente que sólo los sistemas materiales están formados por moléculas.

APÉNDICE 1

Reproducimos la mayoría de las preguntas incluidas en las pruebas relacionadas con los aprendizajes concretos evaluados en este trabajo.

1. Los «colchones de playa» se llenan de aire para que floten en el agua. ¿El colchón lleno de aire pesará más, igual o menos que cuando está desinflado?

2. Si un «colchón de playa» inflado se pincha, es decir, se le hace un agujero, no entra agua dentro. ¿Por qué crees que no entra el agua?

3. Juan decidió llenar su cantimplora en el río, sumergiéndola totalmente. Observó que el agua no penetraba en la cantimplora. Su amiga Alba le dijo: «Si pones la cantimplora en la superficie del agua, de manera que el agua no tape totalmente la boca, podrás llenar la cantimplora». Efectivamente; así lo hizo y la cantimplora se llenó de agua.

Explica por qué cuando el agua tapa totalmente la boca de la cantimplora no puede penetrar dentro de ella y si lo hace cuando se deja una parte de la boca libre.

4. Una jeringa contiene cierta cantidad de aire encerrado (situación A). Si metemos la jeringa en agua caliente, se observa que el émbolo retrocede (situación B).

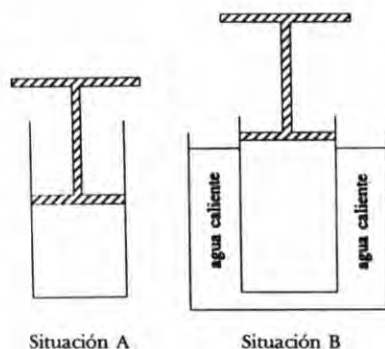
4.1. Representando las moléculas del aire con pequeños circulitos, dibuja cómo te imaginas el aire de la jeringa en las situaciones A y B.

4.2. En la situación B, ¿hay más, menos o el mismo aire en la jeringa que en la situación A? Explica la propuesta.

4.3. En la situación B, ¿pesará la jeringa más, menos o lo mismo que en la situación A? Explica tu respuesta.

4.4. a) ¿Qué cambios le ocurren al aire que está dentro de la jeringa cuando ésta se mete en agua caliente? b) ¿Qué le ocurrirá a las moléculas del aire?

4.5. ¿Qué palabra científica consideras adecuada para describir lo que le ha ocurrido al gas al pasar de la situación A a la B?



5. El bote de la figura tiene una capacidad de 50 cm^3 y está lleno de aire (figura A). Con una jeringa se sacan 10 cm^3 de aire. En la figura B se representa al aire que queda después de haber sacado los 10 cm^3 .

5.1. Representando las moléculas de aire con unos pequeños círculos, dibuja en las figuras A y B, cómo te imaginas el aire que hay en el bote antes y después de sacar con la jeringa los 10 cm^3 de aire.

5.2. ¿Qué volumen ocupa el aire que queda en el bote en la situación B?

- 40 cm^3
- 50 cm^3
- 60 cm^3
- otra cosa:

Explica tu respuesta.

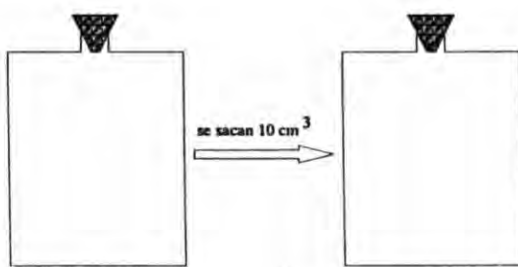


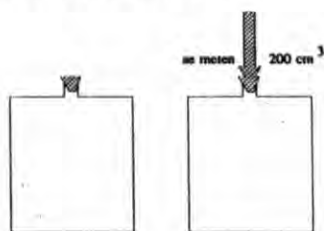
Figura A

Figura B

6. La situación A representa un bote lleno de aire, cuyo volumen es de 500 cm^3 . Con ayuda de una bomba de bicicleta metemos otros 200 cm^3 de aire dentro del bote.

6.1. ¿El volumen que ocupa el aire en la situación B será mayor, menor o igual al que ocupa en la situación A? Explica la respuesta.

6.2. ¿El peso del aire contenido en el frasco en la situación B será mayor, menor o igual al peso del aire contenido en la situación A? Explica la respuesta.



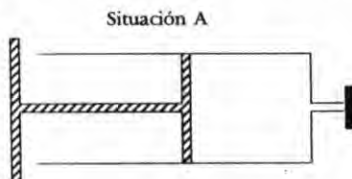
Situación A

Situación B

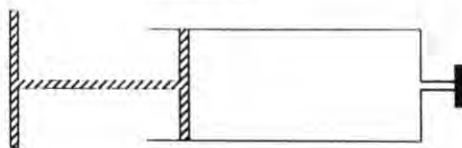
7. Tapamos el agujero de una jeringa de plástico llena de aire (situación A). Tiramos del émbolo de la jeringa (situación B).

7.1. Dibuja en cada caso cómo te imaginas el aire que hay en el interior de la jeringa.

7.2. ¿Qué palabra científica te parece adecuada para descubrir lo que le ha sucedido al aire contenido en la jeringa al tirar del émbolo?



Situación B



7.3. Cuando se tira del émbolo: (Haz un círculo sobre la opción elegida).

A) el peso del aire	aumenta	disminuye	no cambia
B) el volumen del aire	aumenta	disminuye	no cambia
C) la presión del aire	aumenta	disminuye	no cambia
D) el número de moléculas	aumenta	disminuye	no cambia
E) el movimiento de las moléculas	aumenta	disminuye	no cambia
F) la distancia entre moléculas	aumenta	disminuye	no cambia
G) el tamaño de cada molécula	aumenta	disminuye	no cambia

8.1. ¿Cuántas moléculas de hierro imaginamos que hay en la cabeza de un alfiler?:

- a) ninguna
- b) una
- c) más de mil
- d) más de un millón
- e) otra respuesta

8.2. Los científicos dicen que las moléculas de hierro están muy próximas, pero que hay huecos entre ellas. ¿Qué hay en esos huecos?

- a) hierro
- b) aire
- c) nada
- d) moléculas de hierro
- e) otra respuesta.

9.1. Cuando miramos la sangre a través de un buen microscopio, se ven partes muy pequeñas que no son visibles a simple vista. ¿Estas cosas que se ven, son moléculas de sangre? Explica la respuesta.

9.2. Cuando miramos al trasluz, vemos el polvo flotando en el aire. ¿Podemos decir que un pequeño trozo de polvo es una molécula de polvo? Explica la respuesta.

10. El hierro es un material más duro que el alcohol. ¿Serán las moléculas de hierro más duras que las moléculas de alcohol? Explica tu respuesta.

11. El oro es un material cuya densidad es mayor que la del hierro. ¿Serán las moléculas de oro más densas que las moléculas de hierro? Explica tu respuesta.

12. Andrés pone en la sartén, sobre el fuego de la hornilla, un trozo de mantequilla. Al cabo de un tiempo, la mantequilla se ha derretido y es líquida.

12.1. ¿Qué palabra científica consideras adecuada para describir lo que le ocurre a la mantequilla cuando se derrite?

12.2 ¿La temperatura de la mantequilla aumenta, disminuye o no cambia mientras que ésta se derrite? Explica la respuesta.

12.3 ¿Qué ha podido pasarle a las moléculas de mantequilla cuando ésta se derrite?

- | | | | |
|--|----|----|----------|
| A) Las moléculas se han derretido. | Si | No | No lo sé |
| B) Las moléculas de mantequilla líquida se mueven más rápidas que las de mantequilla sólida. | Si | No | No lo sé |
| C) Las moléculas de mantequilla líquidas se desplazan de un lado a otro. | Si | No | No lo sé |
| D) Las moléculas aumentan de tamaño. | Si | No | No lo sé |
| E) Las moléculas son ahora líquidas. | Si | No | No lo sé |

13.1. ¿Se mueven las moléculas de aire? Escoge la opción correcta:

- A) Únicamente se mueven cuando hace viento.
- B) No se mueven nunca.
- C) Están siempre moviéndose.
- D) No lo sé.

13.2. ¿Si crees que las moléculas se están moviendo, cuándo crees que dejarían de moverse? Explica la respuesta.

13.3 ¿Se mueven las moléculas de una piedra? Escoge la opción correcta:

- A) Únicamente se mueven cuando lo hace la piedra entera.
- B) No se mueven nunca.
- C) Están siempre moviéndose.
- D) No lo sé.

13.4. ¿Si crees que las moléculas se están moviendo, cuándo crees que dejarían de moverse? Explica tu respuesta.

14. Daniel dice: «Las moléculas están quietas cuando el hielo está a 0°C y comienzan a moverse cuando pasa a agua líquida».

14.1. ¿Están quietas las moléculas de hielo a 0°C?

14.2. ¿Se mueven las moléculas de agua líquida?

15. Cuando se calienta un trozo de metal: (Haz un círculo sobre la opción elegida).

- | | | | |
|---------------------------|---------|-----------|-----------|
| A) El peso del metal | aumenta | disminuye | no cambia |
| B) El volumen del metal | aumenta | disminuye | no cambia |
| C) El número de moléculas | aumenta | disminuye | no cambia |

D) El movimiento de las moléculas	aumenta	disminuye	no cambia
E) La distancia entre moléculas	aumenta	disminuye	no cambia
F) el tamaño de cada molécula	aumenta	disminuye	no cambia

16. El plomo es una sustancia sólida a temperatura ambiente. Si lo calentamos podemos tener plomo líquido y, si lo calentamos aún más, puede llegar a gas. Haz dibujos de cómo te imaginas las moléculas de plomo sólido, líquido o gaseoso.

17. ¿Cuál de las siguientes cosas crees que es materia? Dibuja un círculo sobre la opción escogida.

el aire	sí	no	no lo sé
la luz	sí	no	no lo sé
el humo	sí	no	no lo sé
el calor	sí	no	no lo sé
el acero	sí	no	no lo sé
el agua	sí	no	no lo sé
el olor a cebolla	sí	no	no lo sé

18. ¿Cuál de las siguientes cosas crees que está hecha de moléculas? Dibuja un círculo sobre la opción escogida.

el aire	sí	no	no lo sé
la luz	sí	no	no lo sé
el humo	sí	no	no lo sé
el calor	sí	no	no lo sé
el acero	sí	no	no lo sé
el agua	sí	no	no lo sé
el olor a cebolla	sí	no	no lo sé

19. ¿Qué son las moléculas? Escribe las características que crees que tienen las moléculas.

BIBLIOGRAFÍA

BERKHEIMER, G. D.; ANDERSON, C. W.; LEE, O. y BLAKESLEE, T. D. (1990): *Matter and molecules Teacher's Guide: Science book (Occasional Paper, 121)*. Published by Institute for Research on Teaching College of Education. Michigan State University.

BERKHEIMER, G. D.; ANDERSON, C. W. y BLAKESLEE, T. D. (1990): *Matter and molecules Teacher's Guide. Activity book (Occasional Paper, 122)*. Published by Institute for Research on Teaching College of Education Michigan State University.

— (1990): *Using a new model of curriculum development to write a matter and molecules teaching unit (Research Series, 196)*. Published by Institute for Research on Teaching College of Education. Michigan State University.

- BIRNIE, H. H. (1989): «The alternative conceptions of a particle theory of air possessed by year 1-5 primary students, their parents, and their teachers», *Research in Science Education*, 19, pp. 25-36.
- BRIAN, L. J.; LYNCH, P. P. y REESINK, C. (1989): «Children's understanding of solid and liquid in relation to some common substances», *International Journal of Science Education*, 11, (2), pp. 417-427.
- BRIGGS, H. y HOLDING, B. (1986): *Aspects of secondary students understanding of elementary ideas in chemistry. Full report.* Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds.
- BROOK, A.; BRIGGS, H. y DRIVER, R. (1984): *Aspects of secondary student understanding of the particulate nature of matter.* Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds.
- BULLEJOS, J. y SAMPEDRO, C. (1990): «Diferenciación de los conceptos de masa, volumen y densidad en los alumnos de BUP, mediante estrategias de cambio conceptual y metodológico», *Enseñanza de las Ciencias*, 8, (1), pp. 31-36.
- BULLEJOS, J.; CARMONA, A.; HIERREZUELO, J.; MOLINA, E.; MONTERO, M.; MOZAS, T.; RUIZ, G.; SAMPEDRO, C. y DEL VALLE, V. (1992): *Ciencias de la Naturaleza. Educación secundaria. Ciclo 12-14. Primer Curso.* (Libro de los alumnos y libro de comentarios). Vélez-Málaga, Elzevir.
- DICKINSON, D. K. (1987): «The development of a concept of material kind», *Science Education*, 71, pp. 615-623.
- DORAN, R. L. (1972): «Misconceptions of selected science concepts held by elementary school students», *Journal of Research in Science Teaching*, 9, (2), pp. 127-137.
- DRIVER, R. (1986): «Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos», *Enseñanza de las Ciencias*, 4, (1), pp. 3-16.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHEN, A. (1985): *Children's Ideas in Science.* Milton Keynes, Open University Press.
- FURIÓ MÁS, C. (1983): «Ideas sobre los gases en alumnos de 11 a 15 años», *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, pp. 83-91.
- FURIÓ MÁS, C. y HERNÁNDEZ PÉREZ, J. (1987): «Parallels between adolescent's Conceptions of Gases and the History of Chemistry», *Journal of Chemical Education*, 64, (7), pp. 616-618.
- GABEL, D. L. y SAMUEL, K. V. (1987): «Understanding the Particulate Nature of Matter», *Journal of Chemical Education*, 64, (8), pp. 695-697.
- GENTIL GONZÁLEZ, C.; IGLESIAS BLANCO, A. y OLIVA MARTÍNEZ, J. M. (1989): «Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de Bachillerato. Implicaciones didácticas», *Enseñanza de las Ciencias*, 7, (2), pp. 126-131.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C. y TORREGROSA, J. M. (1991): *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.* Barcelona: Edición conjunta del ICE de la Universidad de Barcelona y la Editorial Horsori.

- HIERREZUELO, J.; MOLINA, E.; MONTERO, A.; MOZAS, T.; RUIZ, G. y DEL VALLE, V. (1990): *Aprendizaje en Física y Química I* (Libro del alumno y libro de comentarios). Vélez-Málaga: Elzevir.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991): *La Ciencia de los Alumnos: su utilización en la Didáctica de la Física y Química*. Vélez-Málaga: Elzevir.
- LEE, O.; EICHINGER, D. C.; ANDERSON, C. W.; BERKHEIMER, G. D. y BLAKESLEE, T. D. (1990): *Using a new model of curriculum development to write a matter and molecules teaching unit and changing school student's conceptions of matter and molecules. (Research Series, 194)*. Published by the Institute for Research on Teaching College of Education, Michigan State University.
- LLORENS, J. A. (1988): «La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje», *Investigación en la escuela*, (4) pp. 33-49.
- (1991): *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. Madrid: Visor.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA (1989): *Diseño Curricular Base. Educación Secundaria Obligatoria*, tomos I y II.
- MITCHELL, A. C. y KELLIGTON, S. H. (1982): «Learning difficulties associated with the particulate nature of matter in the Scottish Integrated Science course», *European Journal of Science Education*, 4, pp. 429-440.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1978): «Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study», *Science Education*, 65, (2), pp. 187-196.
- «Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-age Study», *Science Education*, 65, pp. 187-196.
- OSBORNE, R. y FREYBERG, P. (1985): *Learning in Science (The implications of children's science)*. Londres: Heinemann (hay versión castellana en Narcea).
- POZO J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A.; LIMÓN, M. y SANZ SERRANO, A. (1991): *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: Centro de Publicaciones del CIDE.
- SÉRÉ, M. C. (1986): «Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching», *European Journal of Science Education*, 8, pp. 413-425.
- SHAYER, M. y ADEY, P. (1984): *La Ciencia de enseñar Ciencias*. Madrid: Narcea.
- STAVRIDOU, J. y SOLOMINOUDOU, C. (1989): «Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction?», *International Journal of Science Education*, 11, pp. 83-92.
- STAVY, R. (1991): «Children's Ideas About Matter», *School Science and Mathematics*, 91, (6), pp. 240-244.
- STAVY, R. y STACHEL, D. (1985): «Children's Ideas about solid and liquid», *European Journal of Science Education*, 7, (4), pp. 407-421.