

INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS

EVALUACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS DE LA MATERIA, DIRIGIDA A ALUMNOS DE 12 A 13 AÑOS (1)

II

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

INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer y explicar la naturaleza de la materia y sus propiedades está ampliamente recogida en las disposiciones oficiales que regulan los contenidos obligatorios para el área de Ciencias de la Naturaleza en la ESO: «*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 llevan a la idea de unidad de la misma*» (Pág. 121, DCB ESO I). Por otra parte, cuando en la pág. 115 se establecen las ideas básicas y generales en torno a las que se han de seleccionar y organizar los contenidos aparecen, entre otras, las siguientes:

- En la naturaleza hay materia e interacciones. Estas últimas son las causantes de los cambios en las propiedades de la materia y todo cambio está asociado a una transformación energética.
- La materia presenta gran diversidad respecto a sus propiedades y a la forma de agrupación de sus componentes.
- Las unidades que componen la materia se encuentran en movimiento.

(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. En el n.º 305 (Septiembre-Diciembre de 1994) de la R.E. se publicó la primera parte de la investigación.

(*) Facultad de Educación, Universidad de Málaga.

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

(***) I.B. Albaycín, Granada.

El estudio de la naturaleza de la materia y sus propiedades físicas y químicas, incluye aspectos descriptivos y aspectos interpretativos, siendo estos últimos los que más dificultades plantean a los alumnos. El modelo cinético-molecular, en una versión elemental, resulta imprescindible para poder interpretar un amplio conjunto de propiedades de la materia que los alumnos tienen que conocer, reconocer y explicar (Brian, Lynch y Reesink, 1989; Furió, 1983; Furió y Hernández, 1987; Stavý y Stachel, 1985; Stavý, 1991; Sèré 1986). La utilidad de este modelo se justifica fundamentalmente por las siguientes razones:

- *En cuanto a los contenidos:*
 - a) Favorece la comprensión de propiedades básicas de la materia, tales como masa, volumen, densidad...
 - b) Favorece el aprendizaje de transformaciones básicas cuya comprensión y diferenciación resulta difícil: cambios de estado, reacciones químicas, intercambios de calor...
- *En cuanto a la naturaleza de la ciencia:*
 - a) El estudio de la teoría cinético-molecular y sus aplicaciones ofrece una buena ocasión para introducir a los alumnos en el conocimiento de los modelos, su naturaleza y su papel en la ciencia.
 - b) Ayuda a los alumnos a construir su conocimiento en distintos planos: el empírico y el interpretativo, diferenciando los hechos de los modelos que nos sirven para interpretarlos.
 - c) Contribuye a que los alumnos tomen conciencia de la provisionalidad del conocimiento científico.

Diferentes investigaciones han puesto de manifiesto las numerosas dificultades que los alumnos de 12-14 años tienen para aprehender el modelo cinético-molecular y para aplicarlo adecuadamente a la explicación del comportamiento de la materia (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; Birnie, 1989). Entre las escasas investigaciones sobre intentos innovadores de producir estos aprendizajes es de resaltar las de Berkheimer, Anderson y Blakeslee (1990, *a, b y c*).

Dentro de esta última línea se inscribe el presente trabajo que recoge la segunda parte de una investigación llevada a cabo para evaluar una unidad didáctica (Bullejos *et al.*, 1992) cuyos aspectos centrales son el estudio de la naturaleza y propiedades de la materia, utilizando el modelo cinético-molecular, y la función de los modelos dentro de la ciencia.

En la primera parte de este trabajo (Hierrezuelo, Prieto, Bullejos y Molina, 1995), se trataron la filosofía y características de la unidad didáctica evaluada, el diseño y el de-

sarrollo de la evaluación, y una parte de los resultados de la misma. Los resultados incluidos correspondían a la evaluación de dos aspectos que podríamos considerar iniciales:

- a) Las hipótesis básicas del modelo cinético-molecular introducidas a través del estudio de las propiedades de los gases (forma variable, espaciado entre moléculas, movimiento de las moléculas, velocidad de las moléculas en relación a la temperatura y a otros factores, naturaleza de las moléculas y ausencia de propiedades macroscópicas en ellas).
- b) La introducción al conocimiento de la materia en los tres estados.

Si allí se expuso el análisis de las respuestas relativas a cuestiones que indagaban sobre el conocimiento de la materia, lo que es materia y lo que no lo es, la naturaleza corpuscular de la materia y las propiedades básicas de los gases, en éste se describe la parte correspondiente al aprendizaje de transformaciones básicas de la materia y de cómo el modelo cinético puede explicar los cambios de estado, los intercambios de calor que en ellos se producen y las diferencias con otros procesos que también implican intercambios de calor.

No obstante, y aunque explicitados ampliamente en la primera parte, antes de entrar en los datos consideramos preciso recordar muy brevemente una serie de principios que impregnaban la unidad didáctica a fin de situar al lector nuevo en el tema.

1. En cuanto al enfoque del trabajo en el aula se consideraban factores fundamentales:
 - a) Centrado en los alumnos, a los que se reconoce responsables de su propio aprendizaje. Por esta razón se concede un papel fundamental a sus ideas previas, sus actitudes y sus expectativas.
 - b) Se concede gran transcendencia a la interacción de los alumnos cuando trabajan en grupos, a la reflexión y las discusiones entre ellos mismos y entre ellos y el profesor.
2. En cuanto al contenido y a su secuencia:
 - a) A partir de la iniciación a la versión simplificada de la teoría cinético-molecular a través del estudio de los gases, se continúa con la aplicación de la misma al estudio y explicación de fenómenos macroscópicos sencillos, tales como: calentamiento, dilatación y cambios de estado.
 - b) Se ha insistido, por considerarlos clave, en aspectos como: distancias relativas entre las moléculas en los diferentes estados; conservación de la masa en las transformaciones y ausencia de propiedades macroscópicas en las moléculas.

- c) Se ha dedicado esfuerzo e interés en procurar a los alumnos ocasiones de acercarse al modo en que la ciencia es construida. Este énfasis resulta tanto más justificado por cuanto venimos considerando que buena parte de la dificultad de los alumnos para entender y utilizar la teoría cinética radica en su ignorancia sobre lo que significa una teoría científica, lo cual les impide llegar a establecer las diferencias oportunas entre hechos y fenómenos a interpretar y teoría o modelo científico.
3. Aspectos metodológicos especialmente enfatizados han sido los siguientes:
- a) Someter a los alumnos a actividades de observación e interpretación de fenómenos clave que contradicen sus percepciones más frecuentes, a fin de conseguir una mayor acomodación de esta teoría en sus mentes.
 - b) Generar ocasiones y aprovecharlas para buscar explicaciones utilizando la teoría e irla desarrollando de una manera progresiva, acorde con las capacidades y necesidades de los alumnos.
 - c) Tratar de ejercitar el pensamiento de los niños en el sentido de que éstos relacionen el comportamiento macroscópico que ellos aprecian y sean capaces de aportar explicaciones usando el modelo.

El diseño, construcción y administración de las pruebas se expusieron en la primera parte de este trabajo. Recordamos que éstas se realizaron a unos 300 alumnos en dos ocasiones; la primera, en el mes de febrero, como un control normal al final del trabajo con la unidad didáctica, y la segunda, en junio, transcurriendo entre ambas ocasiones un mínimo de tres meses.

Al igual que en la primera parte, se presentan los datos agrupados por ideas o significados clave. 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 realizó la prueba.

1. CAMBIOS DE ESTADO

Es posible encontrar a todas las sustancias en los tres estados de agregación

Uno de los objetivos de la unidad consistía en conseguir que los alumnos superasen una idea ampliamente constatada por los profesores: la de considerar que el estado de agregación en el que ellos observan habitualmente a las sustancias, es un estado en el que éstas se encuentran permanentemente.

Podemos entender la consolidación de una idea de esta naturaleza si tenemos en cuenta, por una parte, que los niños construyen su pensamiento fundamentalmente basándose en sus percepciones y, por otra, que el lenguaje de la vida diaria contribuye a

reforzarlas, ya que, por ejemplo, decimos: «*los gases se comprimen*» o «*los sólidos son rígidos*», y en cambio, tienen pocas ocasiones de oír o leer las correspondientes expresiones correctas desde el punto de vista científico: «*las sustancias, cuando están en estado gaseoso, se comprimen*» o «*las sustancias, cuando están en estado sólido, son rígidas*». Incluso, después de estudiar los cambios de estado es fácil para los alumnos pensar que, si bien existen algunas sustancias que pueden estar en los tres estados de agregación, como el agua, existen otras, como el oxígeno, que sólo se presentan en un estado.

En la unidad se dedicó especial atención a conseguir que los alumnos llegasen al convencimiento de que cualquier sustancia es susceptible de existir en cualquiera de los tres estados de agregación, con tal de que los valores de presión y la temperatura sean los adecuados (2).

Las cuestiones 1 y 2 recogidas en el Anexo indagaban la adquisición de esta idea. Los resultados se muestran en la Tabla I.

TABLA I	FEBRERO	JUNIO
El butano puede estar líquido y sólido (Pregunta 1)	72,9	70,2
<i>Depende de la temperatura</i>	(45,8)	(46,8)
<i>Todo cuerpo puede estar en los tres estados</i>	(4,2)	(7,5)
Una piedra sí puede pasar al estado gaseoso (Pregunta 2)	49,1	53,0
<i>Calentándola hasta ebullición</i>	(33,7)	
<i>Porque los cuerpos pueden estar en los tres estados</i>	(9,7)	

Se aprecia que los alumnos contestan más acertadamente en el caso del butano. Estas diferencias podrían estar en relación con la diferente percepción que los alumnos tienen de estos dos ejemplos. La piedra es un «objeto» más cotidiano y más perceptible que el gas, por tanto más ligado a significados fuertemente arraigados en la mente. Aunque el gas butano sea una sustancia de uso cotidiano, su percepción está ligada al conocimiento científico del alumno, al conocimiento de la presión y de la tecnología que fundamenta el uso de las bombonas, etc. Por otra parte, podría tener relación también con las respuestas el que los alumnos tengan la percepción de que el butano está líquido en las bombonas, y en este sentido podría interpretarse el hecho de que casi un 10 por 100 de las respuestas decían que el butano puede estar líquido pero no sólido.

(2) No hemos considerado conveniente matizar el que algunas sustancias no pueden estar en los tres estados porque se descomponen. Tampoco insistiremos en la incidencia de la presión.

La temperatura se mantiene constante durante el cambio de estado

Un aspecto fundamental de los cambios de estado que los alumnos deben saber es el hecho de que la temperatura se mantiene constante durante los mismos, no dependiendo esa temperatura ni de cómo se lleva a cabo el proceso ni de la cantidad de sustancia, etc.

En las cuestiones destinadas a que demostrasen su comprensión de este hecho (3, 4 y 5 del anexo) se utilizaron dos ejemplos conocidos en la vida diaria: el caso del agua y el de la mantequilla. Es de destacar que, aunque satisfactorios en el caso del agua, los que se refieren a la mantequilla no lo son tanto, tal como podemos ver en la Tabla II.

TABLA II	FEBRERO	JUNIO
La temperatura que marca el termómetro introducido en hielo que se funde no cambia porque se está produciendo un cambio de estado (Pregunta 3)	51,1	55,3
La temperatura de ebullición del agua es de 100°C aunque esté encima de la lava (Pregunta 4)	66,7	63,2
La temperatura de la mantequilla no cambia mientras se está derritiendo (Pregunta 5)	36,3	28,9

Una vez más, se pone de manifiesto que el contexto del ejemplo utilizado en las cuestiones influye en las respuestas de los alumnos. Posiblemente éstos están más familiarizados con los cambios de estado del agua que con los de la mantequilla, situación que no se había tratado en la unidad.

Explicación de la condensación

Muchos fenómenos atmosféricos están relacionados con la condensación del agua en estado gaseoso que se encuentra en el aire. Dado que ese agua no se puede percibir directamente, los alumnos encuentran dificultades al intentar explicar aquellos fenómenos en los que participa.

Los ítems empleados para indagar en estas ideas (preguntas 6 y 7) utilizaron el ejemplo del cambio del agua gaseosa a líquida al tomar contacto con una superficie fría, un cristal. Se trataba de comprobar si los alumnos, siendo capaces de identificar el agua como la sustancia que «empañía» el cristal, comprendían, además, que el agua está en el aire y que el causante de la condensación era el contacto con una superficie más fría que el aire.

Los resultados, recogidos en la Tabla III, ponen de manifiesto que algo más de la tercera parte de los estudiantes analizaron correctamente el fenómeno.

Todavía es destacable la persistencia de algunos errores que aparecen en las respuestas. Estas respuestas aluden a que el aire, al enfriarse, se hace líquido o empaña al cristal (alrededor del 20 por 100 en ambas preguntas). Porcentajes cercanos al 10 por 100 de las respuestas se refieren a que el aire se convierte en agua, porcentaje semejante a los que aluden directamente al frío como causa que explica el empañado del cristal.

Respecto a los que señalan la diferencia de temperatura como razón por la que se empañan los cristales y no la cama o la cara de una persona, los porcentajes de respuestas correctas son superiores a los que dijeron que era el agua la causa de que se empañen. Esto puede explicarse porque los alumnos se dan cuenta de que es necesario un enfriamiento para que se produzca una condensación, sin embargo, no tienen claro qué es lo que se condensa en el proceso.

TABLA III	FEBRERO	JUNIO
Lo que empaña el cristal del coche es agua (Pregunta 6)	44,4	30,6
<i>Que se ha condensado</i>	(22,2)	(20,8)
<i>Al disminuir la temperatura</i>	(25,9)	(22,2)
<i>Que está en el aire</i>	(18,5)	(15,3)
Se empaña el cristal y no la cara del amigo porque el cristal está más frío que la cara	43,6	56,9
Lo que empaña el cristal de la habitación es agua (Pregunta 7)	45,2	30,2
<i>Que se ha condensado</i>	(32,1)	(11,8)
<i>Que está en el aire</i>	(16,7)	(14,5)
<i>Al disminuir la temperatura</i>	(31,0)	(18,4)
Se empaña el cristal y no la cama porque el cristal está más frío que la cama	48,9	31,6

Identificación de la evaporación como explicación de algunos fenómenos

a) El ciclo del agua

Un elemento indispensable para comprender el ciclo del agua es conocer que el agua de lluvia, nieve, etc., procede de la evaporación de las aguas superficiales. La prueba de evaluación contenía una cuestión (pregunta 8) indagando sobre el conocimiento de

esa procedencia. Aunque en la redacción no se hacía ninguna mención al ciclo del agua, con el fin de no dar pistas, el porcentaje de respuestas correctas es muy alto, el 81,3 por 100 en febrero y el 74,4 por 100 en junio. Cabe destacar que el 50 por 100 de los alumnos se refieren a todo el ciclo del agua en su respuesta, aun cuando no era necesario hacerlo para dar una explicación correcta.

A pesar de tan buenos resultados, cabe señalar algunas respuestas «curiosas», que pueden poner de manifiesto algunas dificultades de comprensión. Entre ellas destacamos las siguientes: «*la tierra de los océanos se está chupando el agua de los océanos*», «*los océanos tienen más agua cada día*», «*los océanos no se llenan porque las moléculas se extienden por todo el océano*». Esta última respuesta se repite en varios alumnos de una u otra forma, alegando que el mar sea más ancho o más grande que los ríos y eso permite que entre continuamente agua en él sin que tenga que subir. De alguna forma el agua se reparte y «cabe» en el mismo sitio que la que ya había.

b) Percepción de los olores

Con la interpretación de la evaporación nos podemos encontrar que los alumnos entiendan que la sustancia que se evapora desaparece o se convierte en otra sustancia (que pueden identificar como aire o con el nombre genérico de gas). Desde nuestro punto de vista, un objetivo de aprendizaje es que los alumnos tengan claro que la sustancia sigue existiendo, y que no ha experimentado ningún cambio que afecte a su naturaleza intrínseca. En la pregunta 9 se indagaba en este problema pidiendo explicaciones al hecho de que se seque en pocos minutos una mesa sobre la que se ha derramado acetona. También a esta idea alude la pregunta 10, esta vez tomando la gasolina como ejemplo.

TABLA IV	FEBRERO	JUNIO
La acetona se ha evaporado (Pregunta 9.1)	81,5	83,1
Las moléculas son ahora de acetona (Pregunta 9.3)	64,8	66,3

La mayoría de los alumnos, Tabla IV, identifica el proceso de evaporación como el responsable de que la acetona «haya desaparecido», y dos de cada tres dicen que las moléculas siguen siendo de acetona. Sin embargo, alrededor del 16 por 100, tanto en febrero como en junio, creen que después de la evaporación las moléculas son de aire, mientras que otro 18 por 100 dice que después de la evaporación las moléculas son de olor.

Un fenómeno considerado importante en la unidad era explicar cómo es posible oler sustancias que se encuentran lejos de la nariz. La pregunta 9.2 pedía explicaciones sobre por qué se huele la acetona cuando nos encontramos lejos de la mesa, o la gasoli-

na de un bote destapado. Los resultados, recogidos en la Tabla V, indican en qué medida los alumnos aluden a los cuatro procesos principales que se pueden considerar en el fenómeno por el cual percibimos los olores.

TABLA V	FEBRERO	JUNIO
La acetona (gasolina) se ha evaporado o pasado a gas	47,2/39,3	57,8/42,1
La acetona (gasolina) gaseosa se mezcla, se difunde o se mueve en el aire	67,6/83,3	78,3/81,6
La acetona (gasolina) gaseosa o las moléculas de acetona (gasolina) llegan a la nariz o al olfato	31,5/39,3	27,7/13,2
El cerebro interpreta la acción de las moléculas sobre la nariz como un olor característico	14,8/14,3	8,4/6,6

El proceso al que más se refieren los alumnos (entre el 68 y el 82 por 100) es a la difusión de la sustancia gaseosa (o las moléculas de acetona) en el aire. Consideramos posible que algunos alumnos no se hayan referido a la evaporación por considerarla evidente. Sólo la tercera parte de los alumnos se refieren a que las moléculas o la acetona han de llegar a la nariz y, alrededor del 10 por 100 que ese contacto acetona-nariz es interpretado por el cerebro como un olor.

2. DIFERENCIA ENTRE INTERPRETACIÓN Y DESCRIPCIÓN

Diferenciar entre descripción e interpretación teórica

Objetivo fundamental del aprendizaje de las ciencias es que los alumnos sepan diferenciar entre las interpretaciones y las descripciones que hacen de lo observado; que reconozcan que las explicaciones van más allá de las descripciones y necesitan de una teoría, y que las teorías son fruto de la creatividad de los científicos y permiten no sólo explicar interpretando, sino predecir comportamientos. El objetivo es que los alumnos sean capaces de distinguir, en frases como las siguientes: «*las sustancias en estado gaseoso pueden comprimirse disminuyendo su volumen*» y «*cuando se comprime un gas las moléculas se acercan, disminuyendo la distancia entre ellas*», una descripción de lo observado en la primera y una explicación en la segunda.

La cuestión 11 iba destinada a comprobar en qué grado los alumnos eran capaces de identificar y discriminar entre frases como las anteriores. Los resultados son alentadores, por cuanto aproximadamente la mitad de los alumnos clasifica correctamente las cinco frases propuestas en el ítem.

En cuanto al resultado de cada una de las frases, todas son clasificadas correctamente, en porcentajes que oscilan entre el 75 y el 85 por 100 de los alumnos, a excepción de la frase «*los gases se mezclan entre sí fácilmente, proceso conocido como difusión*» que fue considerado como una descripción por el 60,4 por 100 en febrero y por el 52,1 por 100 en junio.

Los resultados parecen positivos, sobre todo si tenemos en cuenta que en otras preguntas, en las que no se pedía expresamente que realizasen distinciones de esta naturaleza, se puede observar que son los propios alumnos los que establecen una diferencia clara entre los dos niveles de conocimiento, no introduciendo explicaciones moleculares cuando se trata de describir observaciones, y viceversa.

Explicación de la dilatación/contracción de un gas

Un fenómeno básico estudiado en la unidad es el cambio de volumen que experimenta un gas cuando, *manteniendo constante la presión*, varía la temperatura. Las preguntas 12a y 13a de la prueba ofrecían a los alumnos la posibilidad de demostrar su capacidad para, de forma abierta, es decir, sin ninguna orientación, describir y explicar lo que ocurre en una situación problema consistente en introducir una jeringa llena de aire en un recipiente con agua caliente o con agua fría. Se les demandaba, específicamente, respuestas a nivel macroscópico y al nivel de la interpretación con la teoría cinético-molecular.

Dado que se trataba de cuestiones abiertas, las respuestas han debido ser categorizadas en función de su contenido. Los resultados correspondientes a la pregunta 12a se muestran en la Tabla VI. Los de la respuesta a la pregunta 13a son similares y no los incluimos porque no añaden nueva información.

En cuanto a identificar el cambio, algunos alumnos citan más de un cambio macroscópico en el aire o más de un cambio en las moléculas. En la tabla se han incluido los datos referidos a alumnos que dicen que el aire se calienta o que el aire aumenta de volumen, y a aquellos alumnos que se refieren a los dos cambios. También se ha incluido información sobre el porcentaje de alumnos que se refieren a que las moléculas se mueven más rápidas o que aumenta la distancia y el porcentaje de alumnos que se refieren a ambos cambios.

Hay alumnos que se refieren a que aumenta la presión del aire (alrededor del 7 por 100), lo cual no es estrictamente correcto, pero puede considerarse positivo el que consideren un nuevo factor. De igual manera debemos considerar positivo que haya alumnos que dicen que aumenta el número de golpes de las moléculas (alrededor del 25 por 100), conclusión a la que se puede llegar al considerar que aumenta la velocidad de las moléculas sin tener en cuenta que simultáneamente aumente el volumen en el que está contenido.

Un aspecto negativo que hemos encontrado en esta pregunta, y en otras, es que los alumnos designan erróneamente el proceso, aun a pesar de ser capaces de describirlo con bastante corrección. Así, sólo el 31,2 por 100 en febrero y el 24,5 por 100 en junio decían que el proceso que ocurre en la jeringa al meterla en agua caliente se llama dilatación, siendo destacable que el 42 por 100 decía que ese proceso se debía de llamar expansión.

TABLA VI	FEBRERO	JUNIO
<i>Nivel descriptivo</i>		
El aire se dilata, aumenta de volumen o se expande	63,5	51,5
El aire se calienta o aumenta de temperatura	20,8	25,5
Aumenta la presión del aire	7,3	9,6
El aire se calienta o el aire aumenta de volumen	72,9	63,8
El aire se calienta y el aire aumenta de volumen	11,5	12,8
<i>Nivel interpretativo</i>		
Aumenta la distancia entre las moléculas	60,4	60,6
Las moléculas se mueven más rápidamente	34,4	38,3
Las moléculas golpean con más fuerza	13,5	14,9
Aumenta la energía de las moléculas	3,1	6,4
Aumenta la distancia o las moléculas se mueven más rápidas	72,9	71,3
Aumenta la distancia y las moléculas se mueven más rápidas	21,9	27,7

Estudio de la presión de un gas

En la instrucción se intentó que los alumnos adquiriesen una primera noción cualitativa de la presión de un gas relacionándola con la propiedad que tienen los gases de empujar a los cuerpos con los que están en contacto. Asimismo, se hizo hincapié en la capacidad de ejercer presión de los gases aun cuando estén en reposo, y se hizo referencia a la presión atmosférica como ejemplo, familiar para los alumnos, de este comportamiento.

Se destacó el hecho de que la presión, junto a la temperatura y el volumen, son propiedades que sirven para describir y determinar el estado de un gas. Desde el punto de vista interpretativo, la presión está relacionada con el número e intensidad de los golpes que pueden ejercer las moléculas del gas sobre el cuerpo colocado en contacto con él. A su vez, esos factores están relacionados con la velocidad de las moléculas y con el número de éstas por unidad de volumen. Es evidente que, aunque las relaciones se han trabajado sólo desde el punto de vista cualitativo, se trata de consideraciones que plantean gran dificultad para los alumnos de 12-13 años, ya que su análisis correcto exige establecer relaciones multifactoriales.

Estas dificultades se ponen de manifiesto en las respuestas a las cuestiones 14, 15 y 16, y así, aunque son muy elevados los porcentajes de alumnos capaces de predecir correctamente aumentos o disminuciones de presión en función de la correspondiente variación de temperatura o de los cambios en la masa de gas contenida en un determinado recipiente, las explicaciones que ofrecen para justificar sus respuestas no se pueden considerar correctas en la misma medida.

Variación de la presión con la temperatura

Según se aprecia en la Tabla VII, son pocos los alumnos que dan una explicación correcta y completa al porqué aumenta la presión cuando se calienta el aire contenido en el interior de una jeringa (pregunta 14), aunque el porcentaje de alumnos que responde que la presión aumenta y da, al menos, un argumento correcto de por qué sucede esto, ronda el 50 por 100.

Entre las explicaciones erróneas destacan, en un porcentaje cercano al 25 por 100, aquellos que argumentan que ha aumentado el espacio entre las moléculas, o que no hay bastante espacio entre las moléculas, o que las moléculas quieren separarse y no pueden.

TABLA VII	FEBRERO	JUNIO
La presión es mayor cuando se calienta el aire contenido en el interior de la jeringa	84,4	89,4
Dicen que la presión es mayor y dan al menos una de las siguientes razones	58,3	47,9
<i>Es mayor porque las moléculas se mueven más rápidas</i>	38,5	31,9
<i>Es mayor porque hay más golpes de las moléculas</i>	28,1	37,2
<i>Es mayor porque las moléculas golpean con más fuerza</i>	20,8	17,0
<i>Es mayor porque las moléculas tienen más energía</i>	12,5	5,3

Variación de la presión al variar la cantidad de gas

Si tenemos en cuenta que la presión depende del número de golpes que las moléculas pueden dar sobre las paredes del recipiente en cada unidad de tiempo y así se les ha explicado a los alumnos, es previsible que éstos relacionen el número de golpes con la cantidad de sustancia. Dos cuestiones, 15 y 16, indagaron en esta problemática. En la primera, se introduce una cantidad de gas en un recipiente rígido que ya contiene cierta cantidad del mismo; en la segunda, se extrae una cantidad de gas de un recipiente en

condiciones similares al anterior. En ambos casos se preguntaba sobre la evolución de la presión, en comparación con su valor al principio.

Más del 50 por 100 de los alumnos reconocen adecuadamente en qué situación es mayor, y dan, al menos, una razón apropiada. También resulta positivo que más del 25 por 100 se refiera a que hay más presión porque es mayor el número de golpes. Este dato resulta más significativo si tenemos en cuenta que se trataba de una pregunta abierta y los alumnos daban ese argumento después de referirse a más cantidad de aire o más moléculas. Las respuestas a ambas cuestiones se recogen en la Tabla VIII.

TABLA VIII	FEBRERO	JUNIO
La presión es mayor en el recipiente cuando hay más aire	73,2/84,5	77,1/82,9
La presión es mayor en el recipiente cuando hay más aire y dan, al menos, uno de los siguientes argumentos	63,0/57,1	55,4/55,3
<i>Porque hay más aire</i>	19,4/20,2	22,9/25,0
<i>Porque hay más moléculas</i>	45,4/28,8	37,4/30,3
<i>Porque hay más golpes</i>	27,8/25,0	20,5/5,3

Sin embargo, entre los alumnos que relacionan adecuadamente presión con cantidad de gas también aparecen justificaciones que no pueden ser consideradas correctas. Ejemplos de lo anterior son los siguientes: la presión es mayor porque las moléculas están más juntas (5,6/14,3 por 100 en febrero y 9,6/14,5 por 100 en junio); la presión es mayor porque los golpes son más fuertes (6,5/9,5 por 100 en febrero y 2,4/2,6 por 100 en junio); la presión es mayor porque las moléculas tienen menos espacio para moverse (13,1 por 100 en febrero y 9,2 por 100 en junio). Esta última razón, aunque no se puede considerar incorrecta, tampoco puede considerarse suficiente para mostrar que los alumnos han comprendido el problema, puesto que no relacionan la disminución del espacio con la existencia de más golpes.

Uso de la diferencia de presión para explicar ciertos fenómenos

Una cuestión de gran dificultad para los alumnos es entender los efectos de las diferencias de presión entre dos sistemas diferentes (Hierrezuelo y Montero, 1991). Las explicaciones que suelen dar, para exponer los efectos de la interacción entre dos sistemas, centran su atención en uno de ellos y rara vez se refieren a la existencia de los dos.

Las situaciones problemáticas planteadas a los alumnos para comprobar en qué grado explicaban, teniendo en cuenta la diferencia de presión entre dos puntos, se situa-

ron en dos cuestiones diferentes. La primera se ilustra en la pregunta 17. En ella se les pide que predigan y expliquen el movimiento del émbolo de una jeringa cuando ésta se introduce en un recipiente cerrado en el que la presión es menor que la atmosférica.

Los resultados muestran que algo menos de la mitad de los alumnos son capaces de hacer predicciones en el sentido correcto y dibujan bien la nueva posición del émbolo, si bien tienen grandes dificultades para explicar su predicción, teniendo en cuenta las diferencias de presión entre el interior y el exterior de la jeringa. Así, cuando se trata de explicar por qué sale el émbolo, sólo el 14,8 por 100 en febrero y el 20,8 por 100 en junio se refieren explícitamente a la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la jeringa. Son porcentajes bajos, sobre todo si se tiene en cuenta que en la redacción de la pregunta ya se hacía alusión a la existencia de dos presiones. Los resultados son aún menos satisfactorios cuando la pregunta no recoge, en su enunciado, la existencia de dos presiones.

Otra situación semejante se les planteaba en el apartado 3 de la pregunta 14. En ella, los alumnos debían explicar por qué es necesario colocar un dedo en el émbolo de una jeringa para que éste no se desplace hacia fuera cuando se calienta el aire contenido en su interior. Se trata de un enunciado en el que no se hace alusión a la presión atmosférica, y son muy pocos los alumnos que se refieren en su explicación a una diferencia de presión entre el interior y el exterior. Los resultados se muestran en la Tabla IX.

TABLA IX	FEBRERO	JUNIO
Es necesario colocar un dedo porque la presión en el interior de la jeringa es mayor que la que hay en el exterior	6,3	4,3
Aluden sólo a la presión en el interior o a los choques de las moléculas del interior de la jeringa	41,7	35,1

Como se puede apreciar, los resultados no son satisfactorios y nos llevan a plantear si se trata de una idea adecuada para los alumnos de este nivel. Si, por el contrario, no se tratase de una cuestión de nivel, parece evidente que habría que dedicar más tiempo y espacio a esta cuestión en la unidad, pero esto, por otra parte, generaría problemas de tiempo. La idea que parece más razonable es la de posponer este estudio a cursos posteriores, hasta que los alumnos hayan trabajado más aspectos del concepto de presión.

Movimiento del aire y temperatura

Si bien es cierto que cuando se calienta un gas se produce un fenómeno de convección en el que las capas de mayor temperatura ascienden y las de temperatura menor descenden, la causa de ello no es directamente la diferencia de temperaturas, como interpretan los

alumnos, sino la diferencia de presión del gas en las capas caliente y fría o, acudiendo a una interpretación más simple, a la diferencia de densidad de las capas caliente y fría.

La diferencia se pone de manifiesto cuando en lugar de calentar el gas en un recipiente abierto se hace en un recipiente cerrado. En este último caso, los movimientos de convección hacen que la temperatura se iguale rápidamente y no puede afirmarse que el aire caliente se sitúe en la parte superior del recipiente.

La experiencia en el aula nos dice que no siempre se dedica la atención suficiente a diferenciar estos matices y ésta puede ser una razón, junto con la tendencia de los alumnos a interpretar los fenómenos basándose en sus observaciones ordinarias, de que éstos mantengan explicaciones erróneas sobre ciertos fenómenos en los que la causa es el gas caliente ascendente o que el gas caliente se sitúa en la parte superior de un recipiente.

TABLA X	FEBRERO	JUNIO
Escogen la opción correcta	83,4	71,1
Porque el aire (o las moléculas) se reparten homogéneamente	14,8	10,8
Porque el aire (o las moléculas) ocupan todo el espacio disponible	51,8	42,2
No dan explicación relevante	16,7	18,1
Los tres émbolos se desplazan por igual	67,9	67,1
La presión es la misma por todos lados y las moléculas golpean igual	21,4	19,7
El aire se dilata o se expande por igual en todas las direcciones	20,2	15,8
El aire tiene la misma temperatura en todos lados	13,2	15,8

La Tabla anterior agrupa las respuestas a dos preguntas referentes al comportamiento del aire después de calentado. En la primera (pregunta 18) los alumnos debían optar, entre tres posibilidades, por la distribución más probable de las moléculas en una botella que se había calentado, mientras que en la segunda (pregunta 19), se trataba de predecir cómo sería el movimiento de tres émbolos, situados en distintas posiciones, cuando se calentaba el aire contenido en el sistema cerrado que los contiene y que les puede empujar. Los resultados ponen de manifiesto que un alto porcentaje de alumnos analiza correctamente las situaciones propuestas. Por otra parte, consideramos significativo el hecho de que, entre las respuestas erróneas, sólo un 10 por 100 se refiera a una

distribución de las moléculas en la parte superior de la botella, cuando el aire es caliente. En cuanto a los desplazamientos de los émbolos son pocos (menos del 15 por 100), los que dicen que el émbolo 2 sube más, y menos aún (el 5 por 100) los que alegan que ello se debe a que el aire caliente sube.

3. USO DEL VOCABULARIO

Finalmente, hemos tenido en cuenta que, para poder emitir explicaciones rigurosas y descripciones adecuadas, es preciso conocer y utilizar adecuadamente una serie de términos científicos a los que generalmente el alumno no tiene acceso en el lenguaje cotidiano. Tres preguntas estuvieron destinadas a poner de manifiesto el grado de adecuación en la utilización de algunos de los términos, específicos de esta unidad, por parte de los alumnos.

En la cuestión 20, se trataba de mencionar tres fenómenos descritos en el enunciado y de describir los fenómenos representados por dos términos dados. Sólo el 25 por 100 de los alumnos respondió adecuadamente a cinco o a cuatro de los cinco apartados.

En otras dos cuestiones (12b y 13b) se interrogó a los alumnos de manera similar. Coherentemente con la respuesta a la pregunta sobre vocabulario se han encontrado bastantes dificultades entre los alumnos para aplicar el término correcto al fenómeno en cuestión, tal como se recoge en la Tabla XI.

TABLA XI	FEBRERO	JUNIO
Nombran correctamente la dilatación de un gas	31,3	24,5
Nombran correctamente la contracción de un gas	39,3	35,5
Nombran correctamente la dilatación de un sólido	63,5	51,4
Nombran correctamente la expansión de un gas	71,4	75,0
Nombran correctamente la fusión de un sólido	38,9	42,2

Merece destacarse la confusión entre dilatación y expansión de un gas. Más del 40 por 100 de los alumnos llamaba expansión a lo que era una dilatación y cerca del 30 por 100 llamaba compresión a lo que era una contracción. El que en ambos procesos ocurra un cambio de volumen parece propiciar esa confusión en el nombre. A la inversa también hay cierta confusión, pero es bastante menor; alrededor del 15 por 100 llama dilatación a un proceso que es una expansión.

CONSIDERACIONES FINALES

En las conclusiones del primer artículo nos referíamos a algunos aspectos de tipo general que se refuerzan a la vista de los datos aquí expuestos. Son las que se refieren a:

- a) La viabilidad y conveniencia de que alumnos de 12 a 13 años trabajen con el modelo cinético-molecular, desde el punto de vista cualitativo, a fin de dotarles de mecanismos para dar explicación a una serie de cambios físicos que les son muy familiares.
- b) Se ha puesto de manifiesto que se pueden conseguir resultados bastante aceptables sin necesidad de un gran despliegue de medios materiales.
- c) Asimismo, se ha comprobado un alto grado de adecuación de la metodología utilizada para conseguir los objetivos propuestos.

Los resultados descritos en este trabajo nos inducen a hacer las siguientes consideraciones:

- Aunque los resultados son aceptables, es preciso seguir insistiendo en un punto clave: la constancia de la temperatura durante el proceso de cambio de estado. Los alumnos son más conscientes de este hecho cuando se refieren al agua, pero no lo generalizan a otras sustancias. Se pone de manifiesto la conveniencia de ampliar el rango de sustancias sobre las cuales tienen ellos oportunidad de comprobar esta propiedad.
- Es preciso recopilar casos asequibles al trabajo habitual del aula que nos permitan poner de manifiesto las posibilidades de las sustancias para estar en cualquier estado de agregación, con tal de que las condiciones del sistema sean las adecuadas.
- Hemos comprobado que si bien la comprensión de los alumnos sobre los procesos de cambio de estado es adecuada, sería conveniente hacer experiencias para ponerlos de manifiesto en sentidos contrarios; por ejemplo: evaporación ↔ condensación, fusión ↔ solidificación. Esto ayudaría a los alumnos a comprender mejor fenómenos atmosféricos relativos a la condensación, en los que han mostrado algunas dificultades.
- La explicación de por qué percibimos los olores se ha mostrado también adecuada para alumnos de este nivel. Podemos comentar al respecto, la necesidad de estimular en los alumnos respuestas amplias, evitando que se den por satisfechos con explicaciones parciales. Es preciso tener en cuenta, sin embargo, que es un objetivo ambicioso que trasciende los límites de una unidad didáctica o de una disciplina en un curso. Se trata de una capacidad a desarrollar progresivamente, curso tras curso, en la que debe sentirse implicado el conjunto del profesorado.

- En cuanto al progreso de los alumnos respecto a la capacidad de diferenciar las explicaciones de las descripciones, los resultados nos permiten ser optimistas. Dada la dificultad, no ya de ser consciente de ello, sino de emitir explicaciones acordes, resulta satisfactorio que un 50 por 100 de nuestros alumnos hayan respondido con éxito a este tipo de cuestiones. No podemos, sin embargo, sentirnos satisfechos hasta haber elevado esta cifra. La razón trasciende de los límites de una unidad didáctica, por cuanto la cuestión en sí se relaciona con la comprensión de los alumnos sobre la naturaleza de las teorías y, por ende, sobre la naturaleza de la ciencia. Se trata de un objetivo al que se ha de servir desde todo el currículum. Nuestro tema ofrece una oportunidad que debe ser aprovechada en todo su potencial. De cualquier modo, se trata de un objetivo a largo plazo, y la comprensión de los alumnos se irá configurando con la aportación de iniciativas, entre otras, similares a las de esta unidad.
- Respecto a la aplicación de la teoría cinético-molecular en la explicación de algunos fenómenos, como la dilatación/contracción de un gas o las variaciones de presión con la temperatura y cantidad de gas, los resultados son satisfactorios y ponen de manifiesto que las hipótesis básicas de la teoría cinético-molecular pueden ser utilizadas por una mayoría de alumnos de esta edad.
- Existen otras ideas que se muestran más difíciles de ser aprehendidas por los alumnos, como la consideración de las diferencias de presión para explicar ciertos fenómenos. En este caso, nos parece más aconsejable aumentar el conocimiento del alumno sobre la naturaleza de la presión y sus cambios, antes de exigirles este tipo de explicaciones, que deberían ser tratadas en cursos superiores.
- Por último, hemos encontrado que el aprendizaje del vocabulario científico ha sido escaso, lo que indica que es preciso proponer actividades alternativas y complementarias para mejorarlo.

ANEXO

1. Paloma dice: «El butano que hay en las bombonas está en parte licuado y mi madre me ha dicho que en el invierno, cuando baja mucho la temperatura, puede hacerse sólido y entonces no funciona la hornilla». «¡No puede ser! -dice Carlos-, el butano es un gas ¡cómo va a estar líquido y sólido, imposible!».

¿Quién te parece que lleva razón en la discusión? ¿Es posible que el gas butano se haga líquido y sólido? Explica detalladamente tu respuesta.

2. ¿Se puede conseguir que una piedra pase al estado gaseoso? Explica tu respuesta.

3. Daniel dice: «¡Fíjate, María!, la temperatura se ha detenido en 0°C durante tres minutos, mientras que el hielo está pasando a agua líquida».

«Ves, –dice María–, creo que el termómetro está estropeado».

¿Crees que lleva razón María? Explica tu respuesta.

4. La lava de un volcán está a una temperatura muy alta. Si echamos agua sobre la lava hierve rápidamente, ¿la temperatura a la que hierve el agua en ese caso es mayor, menor o igual a 100°C ? Explica la respuesta.

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

6. Un amigo y tú estáis sentados en un coche un frío día de invierno. Al cabo de un rato los cristales se han empañado.

a) ¿Qué es lo que ha empañado los cristales? ¿Cómo se ha formado?

b) ¿Por qué se empañan los cristales en lugar de, por ejemplo, tu cara?

7. Después de una fría noche de invierno, los cristales del dormitorio están «empañados».

a) ¿Qué es lo que empaña el cristal? ¿Cómo se ha formado?

b) ¿Por qué se empañan los cristales y no la cama?

8. Juan le dice a Teresa: Los ríos echan billones de litros de agua cada día a los océanos y éstos nunca se llenan hasta desbordarse. ¿Qué sucede con todo el agua que entra cada día en los océanos?

9. Sobre la mesa se ha derramado un poco de acetona líquida. Al cabo de un rato la mesa está seca. Al entrar en la habitación notamos que huele a acetona.

9.1: ¿Qué le ha pasado a la acetona?

a) se ha convertido en aire

b) ha desaparecido, ya no existe

c) se ha convertido en olor

d) se ha evaporado

e) otra cosa:

9.2: Explica por qué hueles a acetona aunque esté lejos de la mesa.

9.3: ¿Qué le ha pasado a las moléculas de la acetona líquida derramada después de que la mesa se haya secado? Enmarca con un círculo la opción que creas correcta.

Las moléculas son ahora de: aire olor acetona

10. Si abrimos una lata de gasolina en un extremo de la clase, al cabo de un rato se huele en el otro extremo.

¿Cómo es posible que huelo a gasolina lejos de la lata? Explica la respuesta.

11. Como sabes, los científicos explican la naturaleza de dos maneras diferentes. Por un lado, describen las observaciones que pueden hacer y, por otro, explican con ayuda de una teoría aquello que han observado.

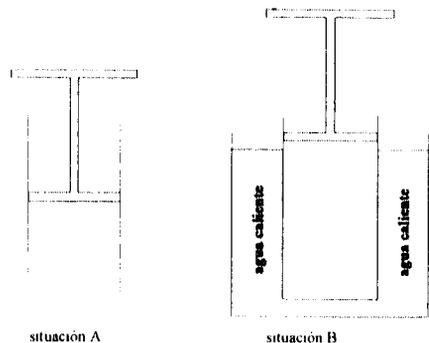
Clasifica las frases siguientes según correspondan a una descripción de las observaciones (DESCRIPCIÓN) o a una interpretación teórica (TEÓRICA). Haz un círculo sobre la opción que elijas.

A) Los líquidos no tienen forma propia.	Descripción	Teórica
B) Los gases se mezclan entre sí fácilmente, proceso conocido como difusión.	Descripción	Teórica
C) Las moléculas de los gases están en movimiento.	Descripción	Teórica
D) En el paso de sólido a líquido la temperatura se mantiene constante.	Descripción	Teórica
E) Cuando un líquido se enfría, las moléculas se mueven más despacio.	Descripción	Teórica

12. 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).

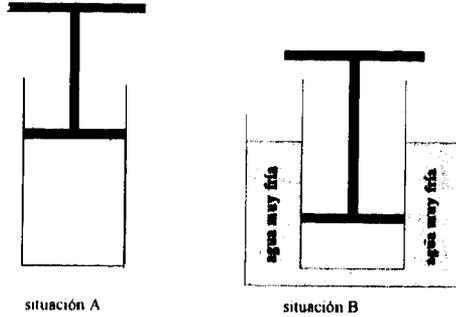
a) ¿Qué cambios le ocurren al aire que está dentro de la jeringa cuando ésta se mete en agua caliente? ¿Qué le ocurrirá a las moléculas de aire?

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



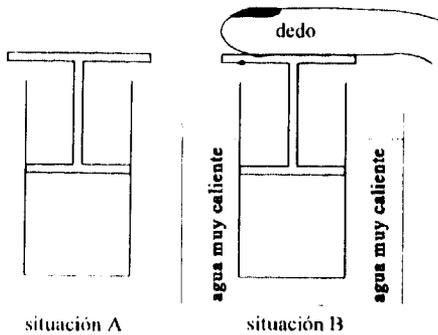
13. Una jeringa contiene cierta cantidad de aire encerrado (situación A). Si metemos la jeringa en agua fría, se observa que el émbolo se introduce más (situación B).

- a) ¿Qué cambios le ocurren al aire que está dentro de la jeringa cuando ésta se mete en agua fría? ¿Qué le ocurrirá a las moléculas del aire?
- b) ¿Qué palabra científica consideras adecuada para describir lo que le ha ocurrido?



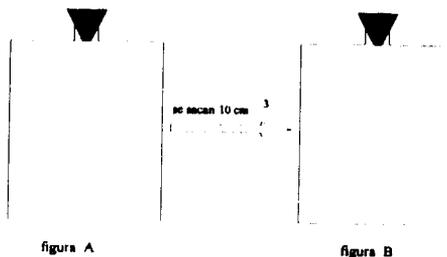
14. Tenemos una jeringa llena de aire con el extremo cerrado. Metemos la jeringa en agua caliente y ponemos el dedo encima del émbolo para que éste no pueda moverse.

- 14.1: ¿La presión del aire encerrado en la situación B es mayor, igual o menor que en la situación A?
- 14.2: Justifica con la teoría cinético-molecular la opción que hayas escogido.
- 14.3: ¿Por qué debemos poner el dedo para que el émbolo no se desplace?



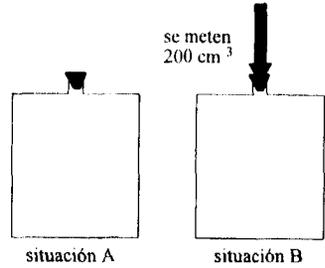
15. El bote de la figura tiene una capacidad de 50 cm^3 y está lleno de aire (figura A). Con una jeringa se sacan 10 cm^3 de aire. En la figura B se representa al aire que queda después de haber sacado los 10 cm^3 .

¿La presión del aire encerrado en la figura A es mayor, menor o igual que en la figura B? Explica la respuesta.



16. La situación A representa un frasco 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 frasco.

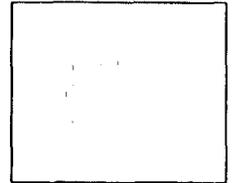
¿La presión del aire dentro del frasco en la situación B será mayor, menor o igual que la presión del aire en la situación A? Explica la respuesta.



17. Tenemos una jeringa tapada por su extremo. Metemos la jeringa en un recipiente que tiene aire a una presión menor que la atmosférica.

17.1: ¿Qué le pasa al émbolo de la jeringa? Escoge la opción correcta:

- A) Se introduce más
- B) Sale hacia fuera
- C) No se mueve



Tanque con aire a presión menor que la presión atmosférica

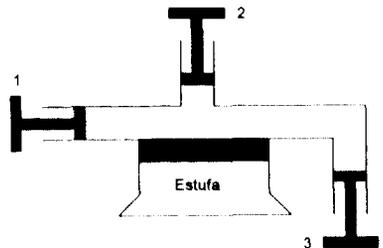
17.2: Dibuja cómo se verá el émbolo de la jeringa cuando está en el tanque. Explica por qué lo has dibujado así.

18. Calentamos en un horno una botella que tiene aire encerrado. ¿Cuál de los dibujos crees que representa mejor la posición que ocupan las moléculas del aire caliente? Explica la respuesta.



horno que mantiene caliente las botellas

19. Calentamos el aire que hay dentro del recipiente de la figura. ¿Se moverán por igual los tres émbolos? ¿Habrá alguno que se mueva más? Explica tu respuesta.



20. Completa las siguientes frases:
- a) El paso de sólido a líquido se llama...
 - b) El paso de líquido a sólido se llama...
 - c) El paso de sólido a gas se llama...
 - d) La ebullición es...
 - e) La condensación es...

BIBLIOGRAFÍA

- BERKHEIMER, G. D.; ANDERSON, C. W.; LEE, O. y BLAKESLEE, T. D. (1990):
a) Matter and molecules Teacher's Guide: Science book. *Ocasional Paper*, 121. Published by Institute for Research on Teaching College of Education. Michigan State University.
b) Matter and molecules Teacher's Guide: Activity book. *Ocasional Paper*, 122. Published by Institute for Research on Teaching College of Education. Michigan State University.
c) 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).
- BROOK A.; BRIGGS H. y DRIVER R. (1984): *Aspects of secondary students understanding of the particulate nature of matter*. Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds.
- 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. 1.º Curso*. (Libro de los alumnos y libro de comentarios). Vélez-Málaga, Elzevir. 1992.
- FURIÓ MAS, C. (1983): «Ideas sobre los gases en alumnos de 11 a 15 años», *Enseñanza en las Ciencias*, vol. 1, pp. 83-91.
- FURIÓ MAS, 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.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991): *La Ciencia de los Alumnos: su utilización en la Didáctica de la Física y Química*. Vélez-Málaga, Elzevir.
- HIERREZUELO, J.; PRIETO, T.; BULLEJOS, J. y MOLINA, E. (1994): «Análisis de una prueba de evaluación de una unidad didáctica sobre las propiedades físicas de la materia, dirigida a alumnos de 12 a 13 años», *Revista de Educación*, 305, pp. 395-428.
- LLORENS DE MOLINA, 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.

- MITCHEL, A. C. y KELLINGTON, 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.
- (1981): «Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-age Study» *Science Education*, 65, pp. 187-196.
- SÈRÉ, M.G (1986): Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching», *European Journal of Science Education*, 8, pp. 413-425.
- 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.