

# LA BÚSQUEDA DE LA UNIDAD

(La estructura de todas las cosas)

CIENCIAS DE LA NATURALEZA, 13-14

---

L I B R O D E L P R O F E S O R

---

J. Martínez Torregrosa, M. Alonso Sánchez, F. Carbonell Gisbert,  
J. Carrascosa Alís, J. L. Domenech Blanco, A. Domenech Pastor,  
L. Osuna García, F. Sendra Bañuls, R. Verdú Carbonell

1993

**Editorial  
GUADCLARA**

ISBN: 84-8018-040-4

Año 1993

## INICIACIÓN A LA ESTRUCTURA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

Recordemos que el curso estaba centrado en el dilema de la diversidad frente a la unidad: ¿todas las cosas que vemos a nuestro alrededor —de una enorme variedad de propiedades y comportamiento— son intrínsecamente distintas o, por el contrario, existe algo común a todas ellas, que pueda explicar esta variedad de un modo unitario y sencillo?

En el tema anterior hemos avanzado hacia la unidad, una idea que, como dijimos en el tema «¿Qué vamos a estudiar?», ha orientado el trabajo de los científicos en la Física y la Química. En lugar de realizar una descripción detallada y cuidadosa de las propiedades de los distintos materiales, hemos dirigido nuestro estudio a buscar propiedades comunes a todos los materiales. Como resultado de este trabajo, sabemos que los sólidos y líquidos tienen masa (y, por tanto, son atraídos por los planetas: pesan) y volumen; y, lo que es más importante, los gases también (si bien su volumen puede ser variado mucho más fácilmente que el de líquidos y sólidos). La barrera aparentemente obvia que aparecía como un serio obstáculo en el avance hacia una concepción unitaria de la materia ha sido, pues, superada.

Siguiendo con el hilo conductor del curso, ¿qué nuevas preguntas podríamos plantearnos para avanzar hacia una concepción unitaria de la materia?

Una buena pregunta sería la de cómo están formados los materiales para tener las propiedades y comportamiento que tienen, es decir, ¿cuál es la estructura de los materiales? (¿cómo son los materiales «por dentro»?). ¿Será una estructura completamente distinta para cada material o, por debajo de la enorme diversidad de propiedades y comportamientos, las sustancias estarán formadas de un modo parecido en lo esencial?

Se trata de una pregunta formulada hace ya más de 2000 años. Desde la más remota antigüedad filósofos y científicos se han preguntado por la estructura interna de las sustancias. Las ideas se han ido desarrollando

históricamente en torno a la naturaleza continua o discontinua<sup>1</sup> de la materia. Por una parte, el sentido común, la experiencia cotidiana, nos dice que con nuestras manos o instrumentos podemos cortar o subdividir trozos de materia como una roca, un pedazo de tela o una cantidad de agua en partes más y más pequeñas, en un proceso cuyo límite sólo parece venir impuesto por nuestros instrumentos pero *nunca por la propia materia*. Por otro lado, como ha ocurrido históricamente, también es posible suponer que ese proceso de subdivisión sí tiene límite, y que todas las sustancias están formadas por partículas diminutas que no pueden subdividirse o cortarse de nuevo.



Así pues, en este tema nos vamos a dedicar a la búsqueda de un modelo, de una idea, que explique cómo está formada la materia, es decir, todas las sustancias que nos rodean. Este modelo debe contribuir a explicar la enorme variedad de propiedades y comportamiento de las distintas sustancias, y también el que todas tengan propiedades comunes, como hemos visto en el capítulo anterior.

<sup>1</sup> La concepción continua de la materia defiende que un trozo de toda sustancia se puede dividir tantas veces como imaginemos.

Dado el inmenso número de sustancias existentes, para poder avanzar es necesario que nos centremos, en principio, en aquellas que tengan un comportamiento (físico) lo más simple posible. Los sólidos y líquidos, tienen una gran diversidad de propiedades y en grados variables: dureza, elasticidad, resistencia, viscosidad, solubilidad, conductividad térmica y eléctrica... Los gases, en cambio, tienen un comportamiento mucho más parecido aunque sean de distinto tipo (amoníaco, aire, oxígeno, dióxido de carbono...), lo que hace pensar que será más fácil abordar el problema de su estructura.

Por tanto, una posible estrategia para investigar cómo están formados los materiales puede ser la siguiente:

—En primer lugar trataremos de inventar un modelo sobre cómo están formados los gases. Para ello, necesitaremos analizar las propiedades de los gases, pues éstas deben ser explicadas por el modelo.

—En segundo lugar, veremos en qué medida el modelo construido a partir del estudio de los gases «sirve» también para sólidos y líquidos.

—Por último, como se ha hecho hasta ahora, reflexionaremos sobre lo que se ha avanzado y los problemas que queden planteados y abiertos.

El ÍNDICE de este tema queda, pues, como sigue:

1. Búsqueda de un modelo para la estructura de los gases
  - 1.1. Propiedades de los gases.
  - 1.2. Un único modelo que explique distintas propiedades.
2. ¿Es extensible el modelo a sólidos y líquidos?
  - 2.1. Algunas propiedades de sólidos y líquidos semejantes a las de los gases.
  - 2.2. Aplicación del modelo corpuscular a sólidos y líquidos. Cambios de estado. Una misma sustancia en tres estados distintos: el agua.
3. Problemas abiertos.
4. Actividades complementarias.

# 1. BÚSQUEDA DE UN MODELO PARA LA ESTRUCTURA DE LOS GASES

## 1.1 Propiedades de los gases

Puesto que un modelo sobre cómo están formados los gases debe explicar su comportamiento y propiedades, comenzaremos por describir lo que sabemos de éstos.

**A.1** Citar gases que conozcáis y mencionar propiedades de los mismos.

### COMENTARIO A.1

En primer lugar, si no se han hecho actividades sobre gases en años anteriores, es necesario tener en cuenta que, posiblemente, para la mayor parte de los alumnos todos los gases son aire. Esto viene apoyado porque la mayor parte de los gases que se presentan cotidianamente son incoloros (algunos alumnos citan que los gases no se pueden ver). Es conveniente indicar que, aunque muchos gases sean incoloros, no son idénticos. Así, el butano, el amoníaco o el hidrógeno son incoloros, pero evidentemente no son aire. Pueden fabricarse también gases coloreados, como el dióxido de nitrógeno [con ácido nítrico sobre cobre (¡ peligro, en campana de gases!)] o mediante la sublimación de yodo [calentando yodo sólido en una cápsula de porcelana].

Las aportaciones de los grupos pueden ser puestas en común inicialmente en la pizarra y, si es necesario, pueden ser enriquecidas mediante preguntas del profesor del tipo: «¿qué pasa con un gas cuando ...?». Después de la discusión colectiva, las aportaciones ordenadas suelen concretarse en que los gases:

- a) se pueden coger (almacenar, encerrar) y «ver»,
- b) se difunden (ocupan todo el recipiente donde se hallan) y se mezclan fácilmente (difusibilidad),
- c) ejercen fuerzas sobre las paredes del recipiente donde se encuentran,
- d) se pueden comprimir y expandir fácilmente
- e) al calentarse se dilatan (si puede variar el volumen del recipiente en que se encuentran) o (en caso contrario) aumenta la fuerza que hacen sobre las paredes del recipiente.

Es necesario ahora, realizar experiencias sencillas que pongan de manifiesto este

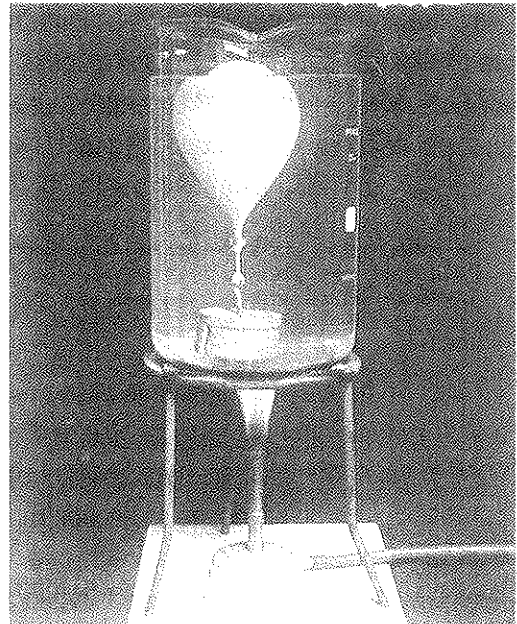
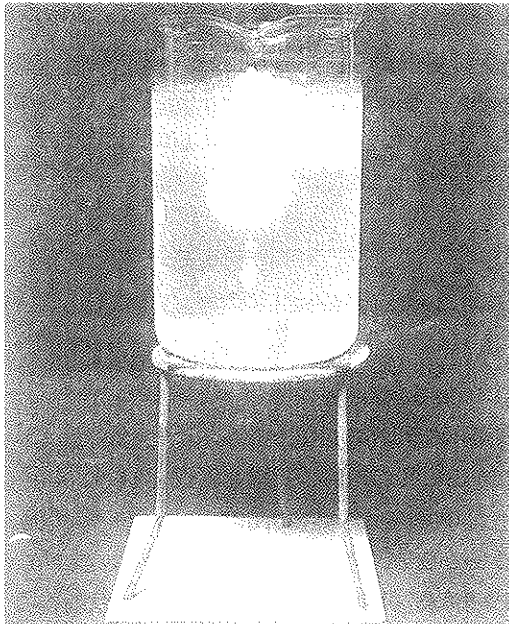
comportamiento de los gases, relacionándolos con situaciones cotidianas (ollas a presión, botellas, jeringas, globos, colchones neumáticos...).

**A.2** Diseñar, y poner en práctica, experiencias para mostrar las propiedades de los gases que se han mencionado anteriormente.

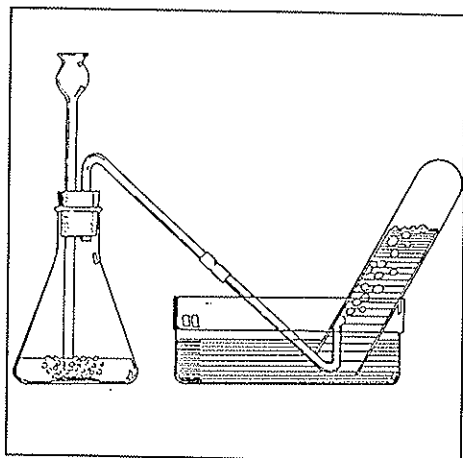
### COMENTARIO A.2

Se trata de una actividad muy atractiva, que permite realizar muchas experiencias cualitativas referidas a hechos cotidianos y en la que los alumnos suelen implicarse bastante. En los comentarios seguiremos el orden establecido en la A.1.

a) Los alumnos se refieren a que los gases se pueden coger, por ejemplo, con bolsas de plástico. Debemos plantear preguntas que inciten a los alumnos a avanzar en la actividad: Verbi gratia, si en una botella abierta o cerrada hay aire, y de qué manera se podría comprobar esto. No se tarda mucho en que algunos de los grupos propongan introducir una botella en agua y ver cómo salen burbujas de aire. Una burbuja de aire en un tubo largo y estrecho lleno de agua o aceite (nivel de albañil), hace posible también que se pueda «ver» con tranquilidad el aire.

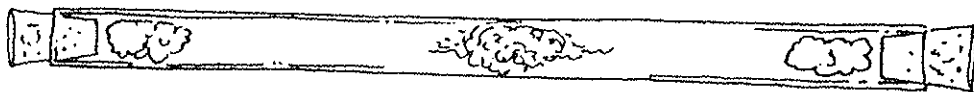


Si se desea realizar trabajos más precisos con gases (medir el volumen que ocupan...), la bolsa de plástico no es lo más adecuado, y se plantea la necesidad de recoger los gases en recipientes graduados como por ejemplo, una jeringa. Si se desea recoger otros gases, es necesario hacerlos burbujear a través del agua que llena un matraz o probeta graduada invertidos. Se puede recoger de este modo, como se ve en la figura, hidrógeno [con ácido clorhídrico (diluido) y cinc], butano, dióxido de nitrógeno [nítrico sobre cobre (¡en muy poca cantidad!)], y en general gases que no sean solubles en agua (como lo es el amoníaco, por ejemplo).



b) Algunos alumnos, en A.1 o en esta actividad, aluden a los «olores» que «viajan» de un lugar a otro (CLIS, 1987). El olor a colonia, a un guiso o a alcohol, que se produce cuando se destapa el recipiente que los contiene, son ejemplos cotidianos de difusión.

Es posible ver (y no sólo oler) la difusión utilizando ácido clorhídrico y amoníaco, gases incoloros, pero que al reaccionar producen cloruro de amonio de color blanco. Puesto que se trata de líquidos volátiles (los olemos rápidamente cuando abrimos un frasco que contiene líquido), al introducir un algodón empapado de clorhídrico y otro de amoníaco en los extremos de un tubo de vidrio se formará cloruro de amonio (sustancia de color blanco) en algún lugar entre ambos, como muestra la figura, evidenciando la difusión de los gases. El tubo deberá ser corto para que se pueda ver mejor y también puede ser interesante hacer la experiencia en un tubo en forma de U.



c) Se trata de un efecto que pasa desapercibido porque el aire se encuentra normalmente en recipientes de paredes rígidas. Conviene considerar recipientes no rígidos, o que puedan variar su volumen, para apoyar la idea de que los gases ejercen fuerza sobre las paredes del recipiente donde se encuentran. Así, al hinchar un globo, una bolsa de plástico o un balón, puede apreciarse la fuerza que ejerce el aire. Al comprimir el aire que hay dentro de una jeringa, cada vez cuesta más esfuerzo hacerlo (si el aire no ejerciera fuerza sobre el émbolo no costaría esfuerzo alguno comprimirlo hasta un volumen prácticamente nulo).

Podemos solicitar a los alumnos ejemplos donde se manifieste que el aire ejerce fuerzas. Situaciones que normalmente pasan desapercibidas por su cotidianidad, suelen resultar sorprendentes analizadas desde este punto de vista: el aire en el interior de una colchoneta o un flotador «hace suficiente fuerza» como para aguantar el peso de una o más personas, o el de las ruedas de un camión... Se les puede pedir a los alumnos que levanten una pila de libros soplando..., claro está que ello sólo es posible si se hace dentro de una bolsa de plástico (o un globo) sobre la que estaban colocados los libros. En definitiva, los alumnos deben percibir que el aire, y en general los gases, hacen fuerza sobre los objetos sin necesidad de estar en movimiento, es decir, sin que haya viento.

d) Los alumnos se refieren, sin mayores dificultades, al uso de una jeringa sin fugas de aire (se puede conseguir utilizando jeringas de plástico y quemando el extremo donde se debería insertar la aguja, o usando jeringas de vidrio con un tapón especial para dicho extremo). Un bombín de bicicleta también puede ser un instrumento para mostrar la compresibilidad de los gases.

e) Acercar un globo (poco hinchado) a una estufa o introducir una jeringa totalmente cerrada sacada del congelador de un frigorífico en agua hirviendo, son diseños que muestran cualitativamente la dilatación de los gases al ser calentados. Podemos proponer colocar un globo, que haya sido hinchado previamente varias veces, para aumentar su elasticidad, o una bolsa de plástico en la boca de un erlenmeyer, como se muestra en la figura de la A.6. Una cazuela con tapadera o, mejor, una olla a presión son buenas muestras del aumento de presión al calentar el gas. La mayor parte de los alumnos han podido ver cómo, en ocasiones, al sacar una botella del frigorífico y dejarla a temperatura ambiente, salta el tapón; este efecto se puede acelerar al calentar con las propias manos la botella o/y colocar, en lugar del tapón, una moneda o un círculo de aluminio, asegurándose de que el aire no puede escapar si no es levantando la moneda (poniendo vaselina o grasa en el gollete, por ejemplo).

## **1.2 Un único modelo que explique distintas propiedades.**

Una vez que hemos concretado algunas de las propiedades, estamos en situación de buscar un modelo que sea capaz de explicar todas ellas.

**A.3** Inventar posibles modelos para la estructura de los gases que puedan explicar por qué los gases se difunden tan fácilmente,



es decir, por qué al destapar un frasco de colonia o de amoníaco, o una olla con un guiso, se puede oler a distancia, o por qué un gas ocupa todo el recipiente en el que se encuentra.

### COMENTARIO A.3

El modelo sugerido con mayor frecuencia por los alumnos es el corpuscular, si bien en caso de que salga algún otro es necesario retenerlo para ver en qué medida puede explicar las otras propiedades. Comenzar por la difusión de los gases favorece que los alumnos piensen en el movimiento de partículas (¿qué es lo que hace que el «olor» viaje?). Si se comienza por otra propiedad (compresibilidad, dilatación...) pueden surgir modelos alternativos al corpuscular: el de «esponja» que se comprime o se dilata, el de pequeños muelles elásticos, las propias partículas que están en contacto se comprimen... Puede tener interés proponer a distintos grupos la A.3 referida a distintas propiedades, y confrontar, posteriormente, los modelos elaborados por ellos, planteando la necesidad de que el modelo elegido explique todas las propiedades de los gases, y no una sola.



Si sólo nos fijamos en una propiedad es posible que podamos inventar varios modelos distintos que pueden explicarla. El número de modelos distintos posibles se reduce grandemente porque cada modelo no debe explicar una propiedad, sino el máximo número de ellas y del modo más sencillo posible (éstas son, entre otras, las razones para que un determinado modelo sea aceptado por la comunidad científica). Es necesario que probemos la capacidad del modelo (o modelos) inventados en A.3 para explicar algunas de las propiedades de los gases que hemos visto en el apartado anterior.

- A.4** Utilizar el/los modelo/s anterior/es para explicar que los gases:
- a) se puedan comprimir tanto (compresibilidad),

- b) se puedan mezclar tan fácilmente (difusibilidad),
- c) ejerzan fuerza sobre las paredes del recipiente en que se encuentran (presión),
- d) al calentarlos, aumentando su temperatura, se dilaten o, si el recipiente no puede variar su volumen (dilatación térmica), aumente la presión.



#### COMENTARIOS A.4

Aquí surge la ocasión de discutir con mucho más detalle sobre el modelo corpuscular y precisar sus cualidades. Así, en el apartado a) los alumnos suelen referirse a que existe gran distancia entre las partículas (en comparación con su tamaño) y que comprimir se traduce en una disminución del «espacio» no ocupado por ellas. Aunque los alumnos aparentemente hayan optado por el modelo corpuscular, debe advertirse que no admiten que exista el vacío entre las partículas (Novick y Nussbaum, 1978, 1981; Furió, 1983). Por el contrario, ante la pregunta «¿qué hay entre las partículas?», «aire» suele ser la respuesta habitual. Es necesario, pues, insistir en la existencia de huecos en que el aire y todos los

gases están formados por partículas separadas por el vacío. Esto explica también la facilidad con que se pueden mezclar los gases (apartado b).

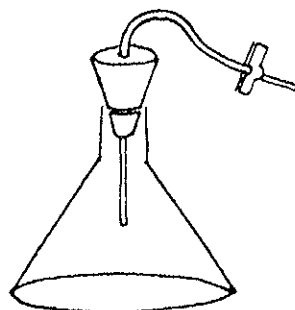
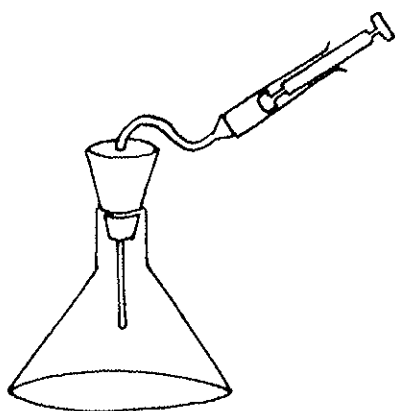
¿Cómo es posible que una bolsa de plástico llena de aire (o una colchoneta de playa) pueda aguantar grandes pesos, o, lo que es lo mismo, cómo explicar que el aire ejerza fuerzas sobre las paredes de la bolsa? Desde el modelo corpuscular una vez se ha admitido la existencia de grandes distancias relativas entre partículas, sólo cabe una opción: éstas tienen que chocar contra las paredes. Y, puesto que son tan pequeñísimas, deben tener una velocidad elevada y/o chocar una enorme cantidad de ellas por  $\text{cm}^2$ .

Los alumnos suelen tener dificultades en apreciar la forma y tamaño de las partículas e inevitablemente usan analogías del lenguaje. Así, pueden imaginarse que el tamaño de las moléculas es equivalente al de las «partículas» de polvo, o de las células [de las que saben que tienen «núcleo», igual que los átomos (CLIS, 1987)]. Más adelante se propone la A.9 destinada a clarificar esta cuestión y dar una idea de los órdenes de magnitud de las partículas.

En el último apartado aparece la relación entre temperatura y movimiento de las partículas, si bien, como se ha encontrado en algunos trabajos (Novick y Nussbaum, 1981; Brook, Briggs y Driver, 1984; Sére, 1986; Driver, 1985; Llorens, 1988) los alumnos pueden atribuir propiedades macroscópicas a las partículas, pensando, por ejemplo, que las propias partículas se dilatan al aumentar la temperatura (o se comprimen cuando se comprime el gas). Cuando ocurran aportaciones de este tipo, deberemos recordar que, para que una idea sea aceptada, no debe existir contradicción con otras ideas y debe explicar todas las propiedades. Así p.e., si se supone que las partículas de los gases se dilatan (se hinchan) al calentar el recipiente que los contiene, hasta tocarse entre sí y con las paredes, entonces, cuando más caliente estuviera un gas, más dificultad tendría para difundirse (para salir por un pequeño agujero) cuando ocurre justamente lo contrario: un gas se difunde más rápidamente cuando mayor es su temperatura, lo que sí concuerda con la idea de que las partículas son de masa y volumen constantes y de que su velocidad aumenta con la temperatura.

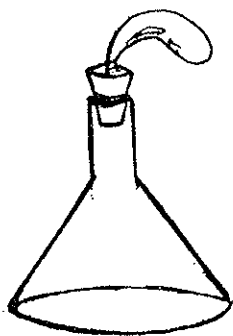
Las siguientes actividades intentan salir al paso de las ideas previas que hayan podido quedar inalteradas después de este proceso de (re)construcción del modelo corpuscular.

**A.5** Del matraz de la figura, que contiene aire, se extrae parte del contenido con una jeringa. Suponiendo que las partículas se pudieran «ver», representa cómo se «vería» el aire antes y después de haber extraído parte del mismo. ¿Y si se hubiera extraído todo?

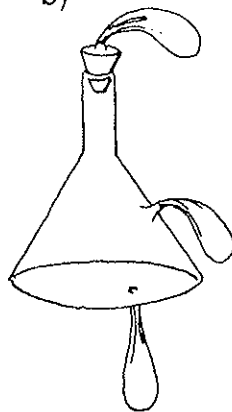


**A.6** Al calentar el matraz de la figura a), el globo se hincha. Representa el aire antes y después de calentar y explica qué es lo que hace que se hinche. ¿Y en el caso de la figura b)?

a)



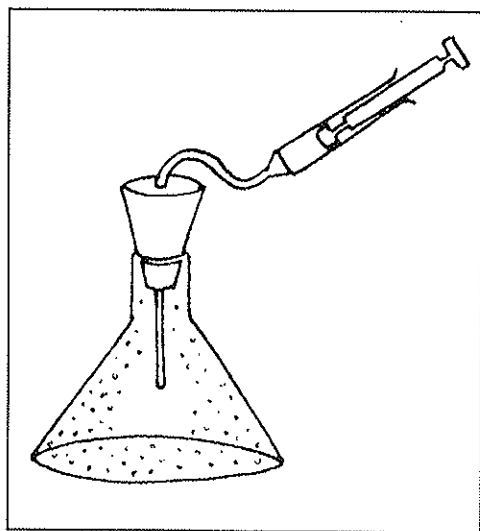
b)



### COMENTARIOS A.5 Y A.6

Se trata de actividades en las que se pone a prueba el modelo recién inventado con el fin de que surjan situaciones que permitan añadir y/o precisar más las características del mismo, o salir al paso de ideas alternativas que se hayan detectado en los alumnos. La petición de que realicen un dibujo permite concretar algunas de estas ideas y poder, así, discutir sobre ellas.

Así, según el modelo corpuscular, las partículas deberían «verse» en movimiento hacia todos los lados, separadas entre sí por «grandes» distancias. Extraer parte del aire consiste, pues, en sacar cierto número de partículas, por lo que quedarán menos en el recipiente, más separadas, que seguirán en movimiento en todas direcciones.



Es posible que algunos alumnos dibujen el matraz como en la figura adjunta, es decir, como si las partículas más alejadas de la boca del tubo hubieran podido «escapar» de la extracción y «refugiarse» en rincones alejados. Se trata de una asignación de propiedades animistas (Novick y Nussbaum, 1978) a las partículas, que debe ser atajada resaltando que las partículas se mueven en todas direcciones (lo que explicaba la difusión), y que las que quedan se distribuyen homogéneamente por el recipiente. El dibujo del matraz, una vez extraído todo el aire, permite que se insista de nuevo en que no hay nada entre las partículas de un gas.

En la puesta en común de la A.6 los alumnos deben comentar los dibujos más frecuentes en los grupos. Es posible, por ejemplo, que surjan dibujos en los que no hay partículas dentro de los globos deshinchados, o bien otros en los que el globo de la base del matraz no se hincha al calentar (los alumnos pueden decir incluso que «el aire caliente va hacia arriba» extrapolando lo que le ocurre a una porción de aire caliente que está entre aire más frío). Ello da pie para insistir en el carácter aleatorio del movimiento de las partículas y, por tanto, en la distribución homogénea de las mismas por todo el volumen del recipiente. Por supuesto, en un recipiente cerrado, independientemente de donde se aplique la llama en el exterior del matraz y, según el modelo inventado, las partículas se moverán en todas direcciones con mayor velocidad, por lo que al ser más «violentos» los miles de millones de millones de choques con las paredes internas de los globos, todos ellos se estiran (se hinchan). Es conveniente que llamemos la atención sobre el hecho de que ocurre también lo mismo con las paredes del matraz, aunque no se deformen como los globos y resaltemos que, si se siguiera calentando, los choques serían tan intensos que podrían hacer saltar el tapón, romper los globos, o, incluso, las propias paredes del matraz («explotar»).

Es imprescindible, además, pedir a los alumnos que dibujen las partículas de aire fuera del matraz, de manera que puedan comparar los cambios internos con la situación del aire fuera, y puedan reflexionar sobre la presión atmosférica y sus efectos.

Es posible, por último, que surjan preguntas como: ¿qué es lo que hace que las partículas estén en movimiento?, ¿por qué no se paran y caen al fondo del recipiente?, ¿por qué al calentar el recipiente aumenta la velocidad de las partículas? Se trata de preguntas muy importantes en cuya solución será necesario avanzar en momentos posteriores. Si surgen en esta actividad, deberemos recogerlas y plantearlas como problemas abiertos que el modelo corpuscular ha de resolver para llegar a constituir una teoría. Si no es así, al hacer la recapitulación del modelo corpuscular en el apartado de PROBLEMAS ABIERTOS, habrá ocasión de que dichas preguntas aparezcan.

**A.7** Indicar de qué dependerá la fuerza que ejerce un gas sobre las paredes del recipiente donde se encuentra. Poner ejemplos de la vida diaria en los que se aumente la presión variando alguno de los factores citados.

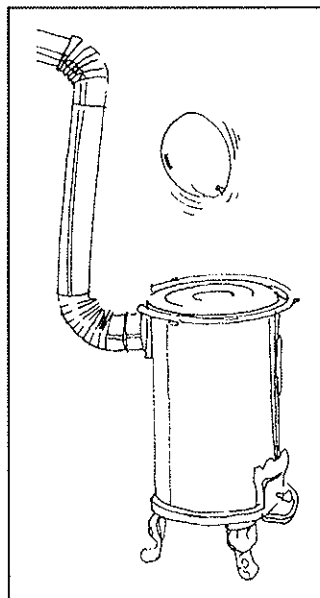
### COMENTARIO A.7

Aunque los alumnos trabajan con una concepción incorrecta de la presión (inicialmente identificada con la fuerza que ejercen las partículas al chocar con las paredes del recipiente) que no conviene cuestionar por el momento, es fácil extraer de sus respuestas que piensan que la presión dependerá del número de partículas,  $N$ , del volumen del recipiente, y de la temperatura (ya relacionada antes con la velocidad de las partículas). Argumentando sobre el tipo de dependencia se llega a las siguientes relaciones:

—Si la cantidad de gas y el volumen permanecen constantes, cabe esperar que la presión aumente con la temperatura; es decir, en principio:  $P = KT$  (en realidad los alumnos utilizan  $t$ , la temperatura centígrada, pues desconocen la escala absoluta de temperaturas).

—Si la cantidad de gas y la temperatura permanecen constantes, entonces cabe esperar que la presión disminuya al aumentar el volumen; en principio:  $P = K/V$  («a doble volumen, mitad de presión»).

—A igualdad de volumen y temperatura, la presión aumentará con el número de partículas.



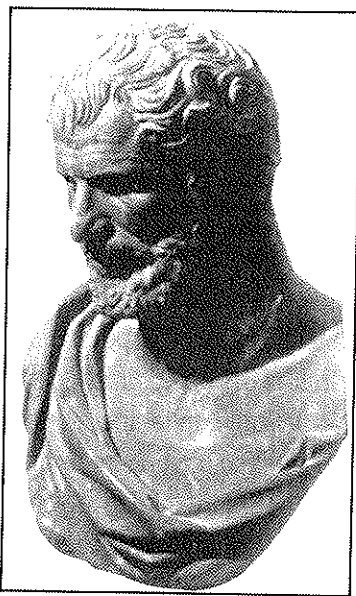
De un modo global, pues, si nuestras suposiciones son correctas, se deberá cumplir  $P = \text{cte. } NT/V$ . Puede plantearse en este momento la opción de continuar con el diseño, experimentación y análisis de resultados (como se hizo en el trabajo sobre el periodo del péndulo), necesarios para comprobar alguna de estas predicciones (en actividades complementarias se presenta un trabajo práctico para comprobar si  $P = K/V$ , cuando  $N$  y  $T$  son constantes) o pedir a los alumnos que citen situaciones que, cualitativamente, muestren la influencia de los factores considerados en la presión.

Los alumnos pueden exponer cómo aumenta la presión («la fuerza sobre las paredes debida a los choques») en un balón o en un neumático al introducir aire (más partículas), o cómo en una olla «a presión» aumenta la misma al elevar la temperatura. Suelen referirse también a bombines de bicicleta, jeringas..., en definitiva a una amplia gama de experiencias cotidianas que muestran cómo el modelo corpuscular puede integrar situaciones distintas, y cómo también pueden, incluso, realizarse predicciones fundadas a partir del mismo («al calentarse un neumático —como ocurre después de un largo trayecto en coche— aumenta su presión»...).

Pueden aparecer referencias a la influencia del «tamaño» o la masa de las partículas en la presión. Se trata de un factor ya considerado en la temperatura —que no está relacionada únicamente con la velocidad de las partículas sino con la energía cinética—, si bien no es posible aquí profundizar en ello sin abordar la naturaleza del calor.

**A.8** Nombra algún objeto que pueda tener un tamaño parecido al de las partículas de los gases.

**A.9** Un alumno ha planteado el siguiente argumento en contra del modelo corpuscular: «Si se admite que entre las partículas que forman el aire no hay nada, el vacío, y que existe gran distancia entre las partículas, podríamos respirar en esos «huecos», y, al no haber aire nos asfixiaríamos». Indicar si se está o no de acuerdo con este planteamiento y por qué.



Demócrito, pensador griego, intuyó que la materia está constituida por pequeños corpúsculos indivisibles.

## COMENTARIOS A.8 Y A.9

La A.8 permite incidir en la idea del gran número de partículas que hay en un volumen determinado y en su pequeño tamaño. Los referentes concretos que los alumnos pueden considerar muy pequeños como «una partícula de polvo» o «una célula», son verdaderos gigantes en comparación con los corpúsculos que forman el aire. Una idea aproximada puede darla el hecho de que en un  $\text{cm}^3$  de aire, a presión atmosférica normal, hay  $2'5 \cdot 10^{19}$  partículas. Conviene detenerse en lo grande que es este número y por tanto el tamaño extraordinariamente pequeño que debe tener cada una de ellas.

Podemos hacernos una idea aproximada de lo que esto supone: si las partículas en ese  $\text{cm}^3$  fueran moléculas de hidrógeno, formadas por dos átomos cada una, y sustituyéramos cada átomo por una esfera maciza cuyo radio fuera el radio de Bohr (radio estimado del átomo de hidrógeno),  $0'529 \cdot 10^{-10}$  m, y las pusiéramos en fila de modo que cada bola tocara a sus vecinas (como en las cuentas de un collar), tendríamos un «hilo» cuya longitud sería:

$$L = (2'5 \cdot 10^{19}) \times 2 \times (2 \times 0'529 \cdot 10^{-10}) = 5'29 \cdot 10^9 \text{ m}$$

La distancia de la Tierra a la Luna es de  $3'84 \cdot 10^8$  m, luego el hilo sería cerca de 14 veces más largo que dicha distancia. En cambio, en contra de lo que pudiera pensarse a partir del valor anterior, el volumen está casi vacío, pues el de una de las esferas que sustituye al átomo sería :

$V = 4/3 \pi r^3 = 4/3 \pi (0'529 \cdot 10^{-10})^3 \text{ m}^3$ ; el de una molécula sería el doble, y, por tanto el volumen realmente ocupado sería:

$$V = 2'5 \cdot 10^{19} \times 2 \times 4/3 \cdot \pi \cdot 0'529^3 \cdot 10^{-30} = 3'1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3.$$

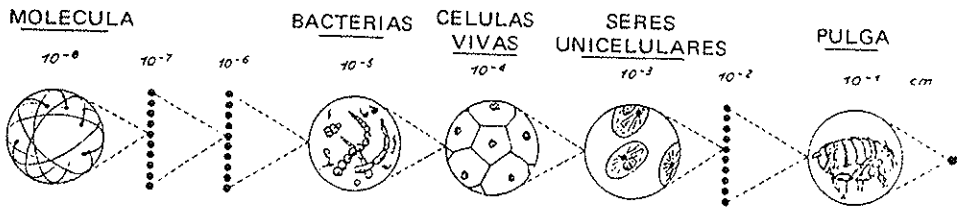
Como  $1 \text{ cm}^3$  son  $10^{-6} \text{ m}^3$ , la fracción ocupada será  $3'1 \cdot 10^{-11}/10^{-6} = 3'1 \cdot 10^{-5}$ , es decir, aproximadamente 3 cienmilésimas de cada  $\text{cm}^3$ .

No se trata, por supuesto, de hacer los cálculos con los alumnos sino de que podamos disponer de ejemplos gráficos sobre el número y tamaño de las partículas. Otras analogías que pueden ser utilizadas son:

a) Si en una bombilla eléctrica en que está hecho el vacío se pudiese hacer una perforación muy pequeña a través de la cual entrasen un millón de partículas de las que forman el aire por segundo, serían necesarios 100 millones de años para llegar a tener en el interior de la bombilla una presión de media atmósfera.



b) El siguiente dibujo muestra una comparación entre los diámetros medios de distintos objetos (para comparar volúmenes habría que elevar al cubo!):



La reiteración que se ha hecho en clase de la gran distancia entre partículas, puede llevar a los alumnos a absolutivizar la misma en vez de considerarla en relación al tamaño de las propias partículas. En la A.9 es posible clarificar esto, introduciendo situaciones «provocadoras» que permiten un aprendizaje más sólido. Así, podemos decir que el alumno tiene razón: en las montañas más altas, las partículas de oxígeno están más separadas que en el suelo, a nivel del mar, de modo que su número en una inhalación es insuficiente para que se produzca la respiración, por lo que los alpinistas tienen que llevarse botellas de oxígeno para respirar. Cuanto más lejos se está de la superficie terrestre, la densidad del aire, y por tanto la concentración de partículas, es menor. Así, a determinadas alturas, las partículas pueden estar separadas por metros o kilómetros (en el espacio interplanetario o interestelar, es posible encontrar de vez en cuando partículas de algunas sustancias). A presión normal ya hemos dado el número de partículas por centímetro cúbico de aire, de modo que no existe el peligro de que ocurra lo que dice el enunciado de la actividad, pero, a pesar de ello, las distancias entre las partículas siguen siendo muy grandes en comparación con su tamaño (en torno a 15 veces el diámetro de las partículas).

A modo de conexión con aspectos prácticos puede aludirse a que el entrenamiento continuado con baja concentración de oxígeno, es decir a alturas mayores de 2000 o 3000 m, hace que el organismo humano produzca más glóbulos rojos para aumentar el rendimiento de la respiración. Los atletas que se entrenan a estas alturas tienen más glóbulos rojos, por lo que al competir a alturas más bajas, con mayor número de partículas de oxígeno por centímetro cúbico, obtienen más energía al respirar que las personas que se han entrenado a baja altura.

**A.10** Se calienta un poco de agua en una lata de aceite vacía y abierta, después de tajarla se deja enfriar y vemos que sus paredes se aplastan. Si calentamos durante un tiempo sufi-

ciente, la lata aplastada recupera de nuevo su forma inicial. Explicar estos fenómenos.

### COMENTARIOS A.10

Esta actividad representa un buen ejercicio para poner en práctica el modelo corpuscular y para comprender los efectos de la presión atmosférica.

**A.11** Hacer un resumen del modelo corpuscular de los gases. Hacer un esquema (o una tabla) donde se recojan las propiedades macroscópicas de los gases y su explicación a partir del modelo corpuscular.

### COMENTARIO A.11

Esta actividad debe cumplir un doble objetivo. Por un lado, ver hasta donde hemos avanzado en la resolución de nuestro problema y retomar el hilo conductor para proseguir nuestro estudio. Por otro, el de realizar una recapitulación, mediante una tabla o esquema, donde se recojan las características fundamentales del modelo y todas las propiedades de los gases convenientemente explicadas.

## 2. ¿ES EXTENSIBLE EL MODELO CORPUSCULAR A SÓLIDOS Y LÍQUIDOS?

Ya tenemos un modelo que, en principio, parece explicar bastante bien el comportamiento de los gases. Pero nuestro objetivo inicial era encontrar un modelo para la estructura de las sustancias tanto gaseosas como sólidas o líquidas. Vamos a plantearnos, pues, si será posible extender el modelo corpuscular de los gases a sólidos y líquidos. Para ello, empezaremos por expresar algunas de las propiedades de éstos que puedan ser explicadas por el modelo.

## 2.1. Algunas propiedades de sólidos y líquidos semejantes a las de los gases

**A.12** Considerar las propiedades de los gases estudiadas en el apartado 1.1 y decidir en qué medida lo son también de líquidos y sólidos

### COMENTARIOS A.12

No conviene, claro está, hacer una relación de propiedades de sólidos y líquidos como la realizada en A.1 para gases. Surgirían propiedades excesivamente complejas para permitir avanzar en el problema planteado. Si se consiguiera que el modelo inventado para los



gases pudiera explicar alguna de las propiedades de líquidos y sólidos, sería ya un gran avance. No vamos, pues, a fijarnos en cualquier propiedad, sino a buscar aquellas que puedan parecer más próximas a las de los gases.

Elo no sólo puede parecer artificial, sino que lo es y no debe ser ocultado ni ignorado, los científicos deciden abordar problemas resolubles, lo que obliga a acotar y simplificar, a ignorar consciente y voluntariamente muchas de las características de las situaciones estudiadas (Gil, Carrascosa, Furió y Mtnéz. Torregrosa, 1991), que hace que se alejen de la realidad tal cual se presenta ante nuestros ojos. La esencia misma del trabajo científico exige tratamientos analíticos, simplificadorios, artificiales. Pero la historia del pensamiento científico

co es una constante confirmación de que ésta es la forma correcta de hacer ciencia, de profundizar en campos definidos, limitados, y de llegar posteriormente, a establecer lazos entre campos aparentemente desligados.

Visto de este modo, la compresibilidad no aparece como una propiedad drásticamente distinta. Es verdad que sólidos y líquidos son muy poco compresibles y que los gases se comprimen con facilidad, como se puede mostrar fácilmente presionando sobre una jeringa que tenga aire, agua, y arena. No obstante, esto debe ser relativizado: cuando se ha apretado bastante el émbolo de una jeringa grande se advierte que no es tan fácil seguir comprimiendo el aire, incluso, en condiciones adecuadas, algunos gases se licúan cuando la presión que se ejerce sobre ellos sobrepasa un determinado valor.

Por otra parte, los líquidos y sólidos se comprimen algo sometidos a grandes presiones.

Por lo que se refiere a la dilatación por calentamiento, las semejanzas son evidentes. La facilidad de los gases para mezclarse o difundirse, hace pensar en que muchos líquidos (miscibles) se mezclan fácilmente entre ellos, o en que algunos sólidos (sal, azúcar, sulfato de cobre...) se disuelven en agua u otros líquidos, extendiendo su presencia («sabor», «color»...) a todas las partes del mismo.

Se trata insistimos de buscar las posibles coincidencias, no de resaltar las grandes diferencias.

Vamos a analizar ahora, los cambios de estado, como «nexo de unión» entre sólidos, líquidos y gases.

## 2.2. Aplicación del modelo corpuscular a líquidos y sólidos

**A.13** Para decidir si el modelo corpuscular es extensible a líquidos y sólidos vamos a analizar y explicar el paso de una misma sustancia del estado gaseoso al líquido y de éste al sólido, y al revés. Indicar ejemplos que se conozcan.

### COMENTARIOS A.13

Se trata de que los alumnos propongan diferentes ejemplos de la vida cotidiana en los que una misma sustancia se encuentra en diferente estado físico para, posteriormente,

enfrentarles al problema de cómo explicar estas transformaciones según el modelo corpuscular.

Entre los diversos ejemplos propuestos por los alumnos se pueden encontrar :

- Vapor de agua, agua líquida, hielo.
- Aceite, aceite solidificado (líquido, sólido).
- Iodo, iodo gas (sólido, gas).
- Naftalina, (sólido, gas).
- ...

**A.14** Partiendo del modelo corpuscular, explicar, a modo de hipótesis, cómo puede suceder que al enfriar el vapor de agua (que está formado por partículas que se mueven muy rápidamente separadas por grandes distancias) se convierta en agua líquida, y ésta, si se sigue enfriando, en agua sólida (hielo).

#### COMENTARIOS A.14

El hecho de que los gases condensen y formen líquidos y sólidos, que son mucho menos compresibles, sugiere que las partículas se acercan mucho entre sí, disminuyendo la distancia entre ellas. Ese acercamiento se podría explicar si existieran fuerzas atractivas entre las partículas cuyo efecto es «mayor» cuando las partículas van más lentas (al enfriar), (pensemos en la fuerza que se ejercen dos bolas metálicas imantadas: aunque pasen a la misma distancia, no ocurrirá lo mismo si van muy rápidas que si lo hacen con una velocidad pequeña).

Por otro lado, si se admite la existencia de fuerzas atractivas entre las partículas, que eviten que los sólidos y líquidos se difundan como los gases, tenemos el problema añadido de explicar por qué cuesta tanto comprimirlos. Parece como si existieran dos tipos de fuerzas entre las partículas en los sólidos y los líquidos: unas atractivas, que explicarían por qué se mantienen unidas, (con menor distancia entre ellas, a diferencia de lo que ocurre en los gases), y otras repulsivas, que impedirían reducir esta distancia más allá de un límite (se explicaría así que no se puedan comprimir).

**A.15** (Opcional) Al cabo de cierto tiempo de estar en el congelador de un frigorífico, el aceite contenido en un vaso solidifica. Cuando

se saca se vuelve líquido. Explicar, a partir del modelo corpuscular, estas transformaciones.

## COMENTARIOS A.15

En esta actividad, hay que salir al paso, de la idea ampliamente aceptada por los alumnos, de que en el líquido las partículas están más separadas que en el sólido (Driver et Al., 1989). Al cambiar de estado sólido a líquido, el volumen suele aumentar alrededor del 10% (en el caso del agua disminuye), lo cual nos podría hacer pensar que hay un au-



Extracción de un mamut joven del Permafrost de Siberia en 1977.

mento en la separación entre cada par de partículas. Sin embargo, los estudios con rayos X de la estructura de sólidos y líquidos, muestran que la distancia entre partículas apenas aumenta. ¿Qué es lo que verdaderamente ocurre? El aumento de volumen y la fluidez de los líquidos se explican por tener una estructura distinta a la de los sólidos. Mientras en los sólidos cada partícula está rodeada, por ejemplo, por otras doce, la estructura no posee «huecos», y, el sólido es rígido; pero, basta calentar y aumentar ligeramente las distancias, para que dicho número de partículas tenga que ser ya menor, por ejemplo once, con lo cual, a pesar de que en esta nueva estructura las fuerzas son casi del mismo orden, no se presenta un empaquetamiento rígido, y quedan «huecos» que permiten la movilidad de las mismas. Debido al incesante movimiento al azar de las partículas, estos «agujeros» no son de tamaño o formas determinados y pueden aparecer espontáneamente, pueden ser deformados y pueden moverse desde un lugar a otro (Mahan, 1968).

Sin ser necesario hacer con los alumnos un análisis tan detallado como el anterior, es conveniente hacer hincapié en que la ligera disminución de volumen que ocurre al pasar de

líquido a sólido es debida, más a un distinto empaquetamiento de las partículas, que a una real disminución de distancias entre ellas.

**A.16** Los sólidos y líquidos se dilatan al calentarse y se contraen al enfriarse (a excepción del agua). Explica este hecho.

#### COMENTARIOS A.16

Si no se produce cambio de estado, al calentar un cuerpo, se eleva su temperatura, es decir, se hace más rápido el movimiento de las partículas (en realidad aumenta la energía media de las moléculas por grado de libertad: translación, rotación y vibración, así como la energía potencial; pero para este curso es suficiente la asociación entre aumento de temperatura y aumento de velocidad de las partículas). En consecuencia, la distancia media entre ellas, llega a ser mayor que la que hay cuando su velocidad es más pequeña.

Hay que matizar que el aumento de la distancia media es muy pequeño: la variación de volumen por calentamiento, en un mismo estado es, en general, menor del 0'5 % cada 100 °C de aumento de temperatura, y no se producen «huecos» en la estructura, como sucede cuando hay un cambio de estado sólido/líquido (en este caso la variación del volumen suele ser alrededor de un 10 %, sin cambio de temperatura).

**A.17** (Opcional) En ocasiones habréis visto que para deformar o estirar, por ejemplo, hierro, se calientan los trozos a temperaturas elevadas. Una persona explica esto, diciendo que así se ablandan y es posible deformarlos. Explicarlo utilizando el modelo corpuscular de la materia.

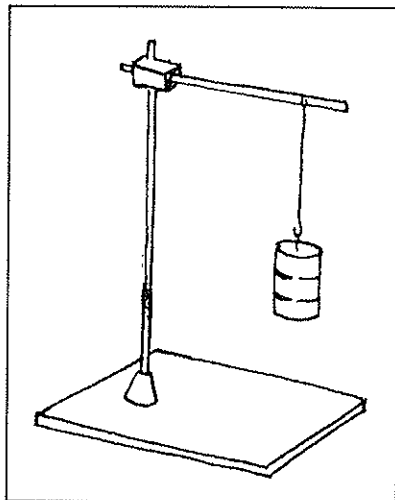
#### COMENTARIO A.17

Se trata de cuestionar la posible idea de algunos alumnos de que las propias partículas se ablandan por calentamiento, y, por contra, incidir, una vez más, en la relación mayor temperatura mayor movimiento de las partículas (mayor vibración) lo que provoca el cambio en el empaquetamiento inicial casi perfecto.

- A.18** Al hilo de cobre de la figura, se le van colgando pesas hasta que llega un momento en que se rompe. Explicar qué puede haber sucedido.

### COMENTARIOS A.18

Con esta experiencia se busca que los alumnos pongan en práctica la idea de la existencia de fuerzas atractivas entre las partículas, que tienen un valor límite, diferente para cada material. Repitiendo esta experiencia con hilos idénticos de distintos materiales, se puede tener una estimación comparativa de las fuerzas atractivas en cada uno de ellos. Todo ello muestra que entre las partículas hay fuerzas atractivas, siendo una medida de las mismas, el número de pesas que resiste sin romperse.



- A.19** Realizar una síntesis del modelo corpuscular de la materia (tanto para gases como para líquidos y sólidos), y una tabla donde se expliquen, a partir del modelo, algunas propiedades de líquidos y sólidos.

### COMENTARIO A.19

Se trata de resaltar que el modelo que hemos inventado es válido para explicar la estructura de todas las sustancias, sea cual sea el estado en que se encuentren, y hacer hincapié en la coherencia del modelo elaborado.

Los alumnos deben percibir lo que se ha avanzado en la resolución del problema de cómo está formada la materia, llegando a una primera visión de la estructura de los materiales (sólidos, líquidos y gases). El núcleo básico del modelo que se ha elaborado es:

—Todos los materiales están formados por partículas o corpúsculos pequeñísimos en continuo movimiento, separados entre sí por el vacío (no hay nada entre ellos). Estas partículas tienen masa (que es una característica inherente a la materia) y la masa de un cuerpo será la suma de las masas de las partículas que las constituyen.

—Entre las partículas existen fuerzas atractivas que tienen poca influencia en los gases, y son más intensas en líquidos y sólidos (cuesta mucho romper un trozo de sólido).



—El movimiento de las partículas está relacionado con la temperatura: cuando ésta aumenta, el movimiento de las partículas aumenta y disminuye al hacerlo la temperatura. (Esto explica tanto las dilataciones de los cuerpos dentro de un mismo estado como los cambios de estado).

### 3. PROBLEMAS ABIERTOS

**A.20** El objetivo de este tema era encontrar un modelo de la estructura de la materia que explicara sus propiedades. Hay que reconocer que hemos avanzado bastante: el modelo corpuscular explica gran número de propiedades de gases, líquidos y sólidos. No obstante, hay muchas propiedades de las sustancias que no hemos explicado. Hacer una lista de dichas propiedades.

**A.21** Plantear preguntas sobre las partículas o corpúsculos que forman los gases, líquidos y sólidos, que sea necesario investigar.

#### COMENTARIO A.20 Y A.21

Con el modelo corpuscular se ha avanzado mucho, pero abren también una serie de interrogantes que será necesario abordar:

—¿Cuál es la naturaleza de las fuerzas entre las partículas?, ¿por qué, para la misma temperatura son distintas para diferentes materiales, como lo pone de manifiesto el hecho de que sea posible encontrar materiales sólidos, líquidos o gaseosos a la misma temperatura? También sabemos que unas sustancias pasan de sólido a líquido y de líquido a gas a temperaturas muy bajas (por ejemplo: el dióxido de carbono, el nitrógeno...) y otros, en cambio, lo hacen a temperaturas muy altas (por ejemplo: el hierro, el cobre...).

—¿Qué es lo que mantiene a las partículas en movimiento?, ¿por qué no se paran como ocurre con los objetos cuando no hay nada que les empuje?

—Aunque con ese modelo se pueda explicar la existencia de gases, líquidos y sólidos, así como las propiedades comunes de los gases y la existencia de algunas de las de líquidos y sólidos, ¿a qué es debida la existencia de propiedades distintas, es decir, el que existan millones de sustancias distintas (el que el oxígeno sea diferente del dióxido de carbono, y éstos, a su vez, del butano; que el cobre sea cobre y no hierro...)?, ¿se debe esto a que las

partículas de las distintas sustancias son diferentes, existiendo, por tanto, millones de partículas esencialmente distintas?, o ¿sólo hay unos pocos tipos de partículas, y es la unión entre ellas la responsable de la enorme variedad de sustancias?

—¿Cómo son esas partículas: redondas y macizas como bolas de billar o tienen, a su vez, una estructura interna responsable de la existencia de sustancias distintas? ¿Están formadas todas de la misma materia y se diferencian sólo en forma y tamaño, o su estructura es esencialmente diferente de unas sustancias a otras?

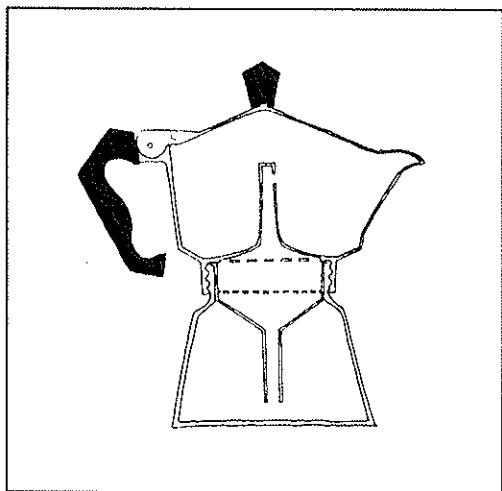
Como vemos, los problemas abiertos por el modelo corpuscular son importantísimos y apasionantes. Podemos preguntarnos, no obstante, de qué sirve inventarse un modelo si se deja tantas preguntas sin resolver, e incluso plantea otras que antes no teníamos.

La respuesta es que de mucho. Las buenas hipótesis científicas (especialmente si son tan importantes como la de un modelo de estructura de la materia) dan lugar a nuevos problemas abiertos, a programas de investigación más o menos fructíferos, que, a su vez son una forma de contrastar la validez de dicha hipótesis o modelo. Pensemos, además, el cambio fundamental que se ha producido respecto del comienzo de curso —cuando no teníamos hipótesis formal sobre la estructura de la materia—: ahora sabemos cómo preguntar, podemos realizar predicciones basadas en dicho modelo y contrastarlas. Las buenas hipótesis estructuran el campo de investigación, haciendo que ésta esté orientada y que no sea un proceso de «ensayo y error». Así, los problemas abiertos están planteados desde el modelo corpuscular.

Tenemos, pues, un punto de partida —y eso supone un paso gigantesco en la ciencia— para plantear nuevos problemas, formular, ampliar o rechazar hipótesis e interpretar resultados. Un punto de partida incompleto, por supuesto, y a modo de hipótesis, pero que significa un gran paso adelante hacia una concepción unitaria de la Naturaleza.

Alguno de los problemas que se han planteado aquí serán abordados de nuevo cuando el desarrollo de estudios en otros campos produzcan conocimientos, que se relacionen con la estructura de la materia, o bien, que puedan resolver alguno de los problemas abiertos. Así, como veremos, los trabajos sobre la naturaleza eléctrica de las sustancias, el calor o las transformaciones de unas sustancias en otras (cambio químico), harán avanzar este primer modelo corpuscular de la materia. Otros problemas, en cambio, serán tratados en cursos superiores y alguno, aún está siendo estudiado por los científicos (físicos y químicos) actuales.

## 4. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS



**A.22** Explicar el funcionamiento de una cafetera a partir del modelo corpuscular de la materia.

**A.23** Idem de las válvulas que tienen los balones reglamentarios.

### COMENTARIO A.22 Y A.23

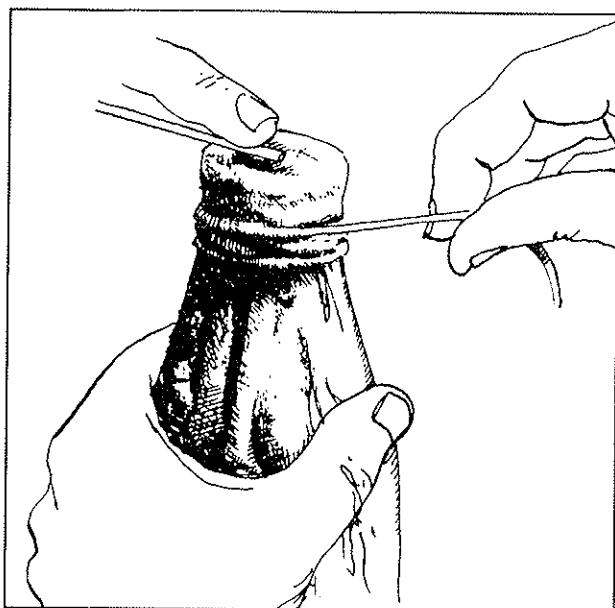
Con estas actividades pretendemos que los estudiantes sean conscientes de que las ideas científicas pueden (y deben) utilizarse para explicar las situaciones cotidianas. Por otra parte, al utilizar las mismas ideas para

explicar situaciones que, en principio, parecen no tener ninguna relación entre sí, estamos resaltando la potencia de las buenas hipótesis científicas.

**A.24** Diseñar y construir un instrumento que nos pueda servir para apreciar variaciones de la presión atmosférica.

### COMENTARIOS A.24

A partir de lo discutido en las actividades A.6, A.7 y A.10, se podrá sugerir que si dispusiéramos de un recipiente cerrado con algo de aire en el que una de las paredes fuese elástica (por ejemplo un globo tensado), el abombamiento de ésta nos indicaría la variación de presión atmosférica ocurrida respecto al momento en que se cerró el recipiente. Pegando a la membrana un fiel (tal y como indica la figura), éste podrá registrar de forma más precisa las variaciones de presión exte-



rior.

En el momento de cerrar el recipiente con una membrana de goma el aire contenido en él tendrá una presión igual a la del aire exterior. Si aumenta la presión exterior la membrana aumenta su concavidad y, si por el contrario, disminuye la presión externa el aire del interior del recipiente comba el diafragma hacia fuera.

El instrumento se podrá calibrar con un barómetro y ser convertido, él también, en «barómetro de diafragma».

Ante la dificultad del diseño propuesto cabe la posibilidad de presentar dicho instrumento ya construido para que los alumnos describan y expliquen su funcionamiento.

**A.25** Explicar por qué sube el refresco por una pajilla al aspirar.

**A.26** ¿Qué consecuencias tendría para la naturaleza el que el agua disminuyera su volumen al congelarse?

**A.27** Explicar el funcionamiento de la bomba aspirante cuyo esquema aparece en la figura.

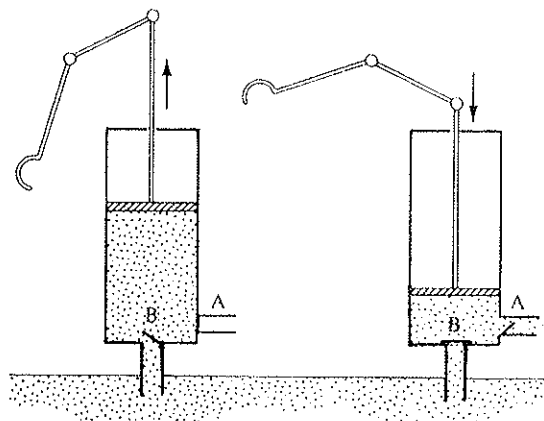


#### COMENTARIOS A.25, A.26 Y A.27

Con estas actividades se pretende evidenciar el poder explicativo del modelo construido, tratando de explicar y predecir, no sólo numerosos fenómenos habituales, sino también el funcionamiento de instrumentos técnicos.

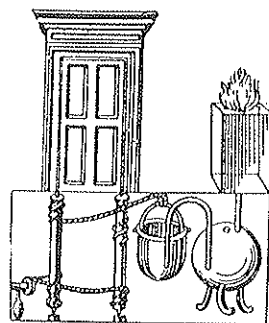
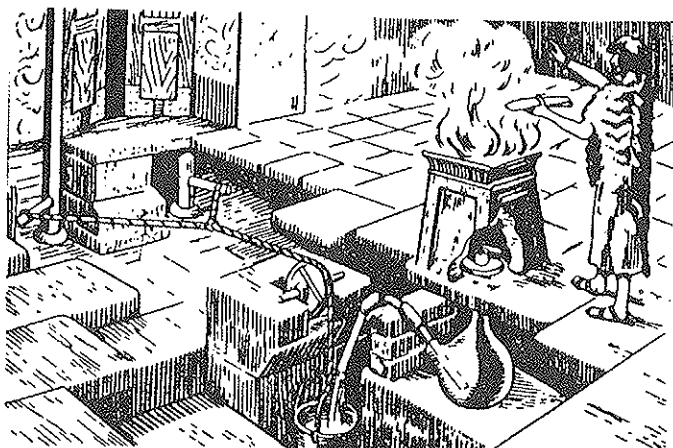
Así, para el funcionamiento de las bombas, fuentes y sifones, es fundamental la presión atmosférica.

En el esquema de la bomba adjunto, cuan-



do la empuñadura eleva el pistón se abre la primera válvula. Entonces, la presión del aire exterior empuja el agua hacia el cilindro. Cuando baja el pistón, se abre la segunda válvula y se cierra la primera. El agua sale a través de la espita cuando el pistón sube por segunda vez.

**A.28** Explicar el «milagro» de la apertura de las puertas del templo por los sacerdotes egipcios, según el esquema adjunto.



## CONTINUACIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL SOBRE LA RELACIÓN PRESIÓN/ VOLUMEN EN LOS GASES (OPCIONAL)<sup>2</sup>

**A.29** Diseñar un montaje experimental que permita contrastar la relación supuesta entre la presión y el volumen ocupado por un gas.

### COMENTARIOS A.29

Los alumnos sugieren la utilización de un cilindro transparente, provisto de un émbolo que pueda subir y bajar fácilmente y en donde se halla aprisionada una cierta cantidad de gas. Una simple jeringuilla o bien una probeta graduada, como se describe en el Nuevo

<sup>2</sup> Estas actividades han sido confeccionadas siguiendo el libro de Calatayud et Al. (1988).

Manual de la Unesco para la Enseñanza de las Ciencias (Unesco, 1982), pueden servir perfectamente. Basta colocar pesas iguales sobre el émbolo, dispuesto verticalmente, para obtener valores relativos de la presión, medir el volumen en cada caso y construir una tabla de valores P-V.

El uso de jeringas desechables permite, tomando algunas precauciones, obtener resultados bastante correctos. Entre estas precauciones cabe notar las siguientes:

—Asegurar el cierre de la jeringuilla, para lo que los alumnos proponen, entre otros procedimientos, soldar a la llama, poner una pieza de goma sobre la mesa y presionar en ella la jeringuilla, hundir la aguja de la jeringa en un corcho, etc. Excepto este último (que no impide las pérdidas de aire), los demás funcionan bastante bien.

—Tener en cuenta la fricción, que se podrá desprestigiar si, después de presionar el émbolo ligera y repetidamente con la mano, se constata que la posición del émbolo recuperada después de soltarlo, es siempre la misma. En caso contrario, se ha de utilizar algún lubricante.

—Las pesas han de ser lo más planas posibles (va muy bien un cilindro de hierro cortado en discos).

### **A.30** Proceder a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.

#### **COMENTARIOS A.30**

Los alumnos recurren a representar  $P = f(V)$ , que según la hipótesis manejada debe conducir a una hipérbola.

Normalmente es necesario que hagamos algunas consideraciones sobre los valores de la presión tomados, puesto que los alumnos suelen tener dificultades en el manejo de valores relativos: si cada pesa supone un incremento de presión  $\Delta P = 1$  (unidad arbitraria), y la presión atmosférica es  $P_0$ , los valores sucesivos serán:  $P_0 + 1$ ;  $P_0 + 2$ ; etc. Ahora basta tomar  $P_0$  como origen (es decir desplazar la escala) para poder considerar como valores de la presión 1, 2, etc.

Si se han adoptado las precauciones indicadas en la actividad anterior, los resultados obtenidos son bastante aceptables. No obstante, es preciso salir al paso de posibles distorsiones sobre el trabajo científico por parte de los alumnos, tales como imaginar que bastan unos pocos resultados como los obtenidos en un laboratorio escolar para dar por verificada o falsada una hipótesis (Hodson, 1985). Para ello, podemos recurrir (después de que los alumnos realicen los experimentos correspondientes) a comentar los trabajos rea-

lizados por Boyle y por Gay-Lussac. Con este mismo objetivo se puede hacer uso también de tablas de resultados obtenidas en experimentos realizados por científicos, en condiciones más rigurosas que las de un laboratorio escolar. En este sentido se propone cualquiera de las actividades siguientes.

**A.31** (Opcional 1) Se ha medido el volumen ocupado por una cierta cantidad de gas a temperatura constante, para distintas presiones, obteniendo la siguiente tabla de valores:

P (atmósferas)	9	15	21	45	63
V (litros)	70	42	30	14	10

Analizar dichos resultados.

**A.32** (Opcional 2) Boyle, en un experimento original, midió la longitud  $L$  (directamente proporcional al volumen) de una columna de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio  $h$ .

$L$ (cm)	50'0	45'0	40'0	35'0	30'0
$h$ (cm)	0'0	8'3	18'0	32'1	50'0

Analizar dichos resultados.

### COMENTARIOS A.32 Y A.33

Las actividades anteriores, no sólo contribuyen a motivar a los alumnos (dada la convergencia de sus resultados con los obtenidos por relevantes científicos) y a proporcionarles una imagen del trabajo científico más próxima a la realidad, sino que también pueden utilizarse cuando la realización material de un experimento resulta difícil de llevar a cabo (complejidad del montaje, falta de medios técnicos, falta de tiempo, etc). Ello no disminuye el carácter de investigación del trabajo: muchos investigadores recurren a otros equipos para la realización de experiencias complejas. En cualquier caso, no es preciso ni conveniente contrastar todas y cada una de las relaciones que se derivan de las hipótesis emitidas. Bastaría la realización de uno o dos experimentos, elegidos de acuerdo con el tiempo y material disponible, y proporcionar tablas de datos de los otros aspectos para que los alumnos los analicen y extraigan las oportunas conclusiones, o, si se prefiere, señalar simplemente que, de igual modo, se puede constatar la validez de las restantes expresiones formuladas como hipótesis.

# INICIACIÓN A LA ESTRUCTURA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

## OBJETIVO CLAVE:

—Una vez aceptado que hay propiedades comunes a todos los materiales, conseguir que el modelo cinético-corpúscular de la materia sea percibido como un modelo que, de un modo sencillo y unitario, explica las propiedades comunes de los materiales y algunos aspectos de su comportamiento.

## ASPECTOS EN LOS QUE SE TRABAJARÁ:

—Invención del modelo cinético-corpúscular para los gases. Interpretación cinética de sus propiedades: compresibilidad, presión, dilatación térmica, difusibilidad.

—Extensión del modelo a sólidos y líquidos: cambios de estado, dilatación térmica de sólidos y líquidos...

## PROBLEMAS ABIERTOS AL FINALIZAR EL TEMA:

—¿Qué mantiene a las partículas en movimiento?

—¿Cuál es la naturaleza de las fuerzas entre las partículas? y, por tanto, ¿por qué a la misma temperatura unas sustancias se encuentran en estado sólido, otras en estado líquido y otras en estado gaseoso?

—¿A qué es debida la enorme variedad de sustancias?, es decir, ¿se debe a que son distintas las partículas? o, por el contrario, ¿sólo hay unos pocos tipos de partículas y diferentes uniones entre ellas?

—¿Cómo son a su vez las partículas?, es decir, ¿son macizas, con estructura interna...?