

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

Ya tenemos un modelo que, en principio, explica bastante bien el comportamiento de los gases. Pero nuestro objetivo inicial era encontrar un modelo para la estructura de los materiales, tanto gaseosos como sólidos o líquidos. Vamos a plantearnos, ahora, si será posible extender el modelo cinético corpuscular de los gases a los sólidos y los líquidos. Para ello, empezaremos buscando semejanzas entre ellos, es decir, propiedades de los gases que también pueden tener los sólidos y los líquidos. Si consiguiésemos encontrar estas semejanzas, también cabe esperar que se puedan explicar con el modelo, lo cual nos permitiría consolidarlo todavía más y, con ello, avanzar en nuestro propósito de generalizar el modelo cinético corpuscular de los gases al resto de la materia.

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

Puesto que, a partir de ahora, nuestro objetivo va a ser extender el modelo cinético corpuscular de los gases a toda la materia, empezaremos buscando posibles semejanzas de los sólidos y los líquidos con los gases.



**A.10.** Considerad las propiedades de los gases estudiadas en el apartado 1.1 y decidid en qué medida lo son también de líquidos y sólidos.

Joaquín Martínez Torregrosa

Dada la variedad de propiedades que se han considerado para los gases y lo distintos que parecen, a primera vista, de los líquidos y los sólidos, parece claro que, si se consigue que el modelo construido para los gases explique alguna de las propiedades de líquidos y sólidos, será (como punto de partida) un gran avance. Con este objetivo, no vamos a fijarnos en cualquier propiedad, sino que pensaremos en aquellas que inicialmente puedan parecer más próximas a las de los gases. Se trata de buscar posibles puntos comunes o próximos, y no de resaltar las evidentes diferencias.

Con este planteamiento incluso la compresibilidad puede ser vista como una propiedad que no es drásticamente distinta entre los gases y el resto de la materia. Es verdad que los sólidos y los líquidos son muy poco compresibles y que los gases se comprimen con facilidad (como se puede mostrar, por ejemplo, presio-

nando sobre una jeringa que tenga aire, agua, y arena). Pero esto puede y debe ser relativizado: habéis podido comprobar que, cuando se ha apretado bastante el émbolo de una jeringa grande, llega un momento en que no es tan fácil seguir comprimiendo el aire e, incluso, en condiciones adecuadas, algunos gases pasan a líquidos (es decir, se licúan) cuando la presión sobrepasa un determinado valor. Además, los líquidos y los sólidos también se comprimen algo (aunque muy poco) si son sometidos a grandes presiones.

Por lo que se refiere a la dilatación por calentamiento, las semejanzas son bastante más evidentes, ya que tanto los gases como el resto de la materia aumentan su volumen (en distinto grado) o la presión, al aumentar la temperatura.

Por último, la facilidad de los gases para mezclarse o difundirse se puede relacionar con el hecho de que muchos líquidos se mezclan fácilmente entre ellos (son miscibles) y también con el hecho de que algunos sólidos (como sal común, azúcar, sulfato de cobre, etc) se disuelven en agua o en otros líquidos y extienden su presencia («sabor», «color»...) a todas las partes del mismo. También sabemos que algunos sólidos se mezclan dando lugar a aleaciones (el bronce es una aleación de estaño y cobre, y el latón, de cobre y cinc).

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

Hemos visto que existen algunos puntos de coincidencia entre sólidos, líquidos y gases, que permitirán avanzar en nuestro problema de si es posible generalizar el modelo cinético corpuscular de los gases (y en qué medida) al resto de la materia.

Continuaremos el trabajo estudiando la posible aplicación de dicho modelo a los cambios de estado, que constituyen el nexo de unión entre sólidos, líquidos y gases. Es decir, para decidir si el modelo cinético corpuscular es extensible a líquidos y sólidos, empezaremos buscando sustancias que puedan cambiar de un estado a otro, por ejemplo del estado gaseoso al líquido, y de éste, al sólido. Si el modelo cinético corpuscular es válido, ha de explicar cómo se producen los cambios de estado y las diferencias de comportamiento entre gases, líquidos y sólidos.



**A.11.** Citad ejemplos de materiales conocidos que se presenten en diferentes estados (gaseoso, líquido, sólido). Indicad que debe ocurrir para que se produzca el cambio

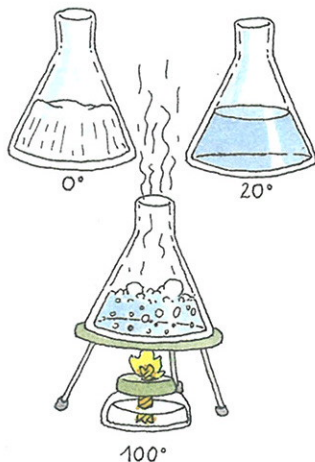


Efectivamente, podemos encontrar numerosos ejemplos de la vida cotidiana en los que un mismo material se encuentra en diferente estado físico: vapor de agua, agua líquida, hielo; aceite, aceite solidificado; iodo sólido y gas; naftalina sólida y vapores; el líquido contenido en un mechero y el gas, al abrirlo.

En general, al cambiar la presión, la temperatura, o ambas, las sustancias cambian de estado, cambiando, con ello, algunas de sus propiedades y el comportamiento. El gas butano, a mayor presión, se convierte en líquido. Al enfriar el vapor de agua, se convierte en agua líquida, y ésta, si se sigue enfriando, en agua sólida (hielo). Incluso el aire a mayor presión y a temperaturas muy bajas, se puede convertir en un líquido.



**A.12.** Señalad las principales diferencias en el comportamiento de una sustancia cuando pasa de gas a líquido, y de líquido a sólido.



Hemos explicado que los gases se expanden, ocupando todo el volumen del recipiente donde se encuentran, por estar formados por partículas que se mueven muy rápidamente, separadas por grandes distancias. Ahora tendremos que explicar que un gas, cuando pasa al estado líquido, puede llegar a reducir unas 1.000 veces el volumen que ocupa, y que el volumen del líquido sólo sufre pequeñas variaciones según la temperatura. Así, el mercurio de los termómetros tiene un volumen distinto para cada temperatura, pero son diferencias tan pequeñas que sólo se aprecian en un tubo capilar, muy fino.

Cuando consideramos el paso de líquido a sólido, ya no es la diferencia de volumen la propiedad que más llama la atención (suele disminuir sólo alrededor de un 10%). Por otra parte, también se mantiene, aunque en menor medida, la variación de volumen con la temperatura. Un líquido, como la gasolina que hay en un depósito de 70 l de un coche, aumenta 2 l al calentarse de 20 °C a 50 °C, y un sólido, como una barra de hierro de 200 m, se alarga 5 cm al aumentar la temperatura de 10 °C a 50 °C.

Por tanto, lo que diferencia esencialmente a líquidos y sólidos no es ni el volumen que ocupan, ni la dilatación que pueden experimentar. En cambio, sí que se comportan de forma radicalmente distinta en lo que se refiere a la difusión. Los líquidos pueden difundirse entre ellos, pero no los sólidos.

rosa





### A.13. Partiendo del modelo cinético corpuscular y teniendo en cuenta las diferencias de comportamiento señaladas, explicad, a modo de hipótesis, qué sucede cuando un gas se convierte en líquido y éste en sólido.

En principio, la idea de que existan fuerzas atractivas entre las partículas —que no tendrían influencia ni a grandes distancias ni entre partículas a grandes velocidades (en los gases), pero que serían de gran intensidad a distancias cortas o entre partículas a menor velocidad (en los líquidos y sólidos)<sup>10</sup>— explicaría la gran diferencia de volumen cuando un gas pasa al estado líquido y al sólido.

En estos casos, las partículas en movimiento estarían ligadas, aunque permitiendo movimientos de vibración más o menos amplios según la temperatura, lo que explicaría los pequeños cambios de volumen que pueden sufrir líquidos y sólidos.

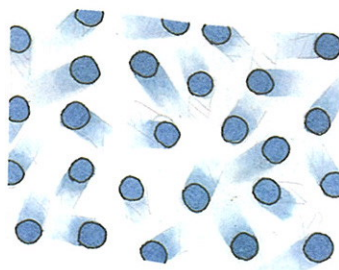
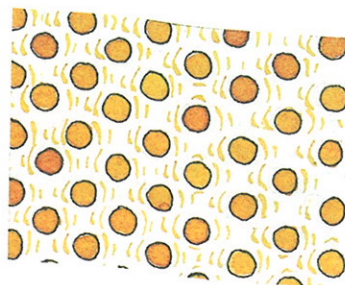
Por último, el hecho de que, al pasar de líquido a sólido, se pierda la propiedad de «fluir», de difundirse, hace pensar que el modo y la intensidad con que las fuerzas atractivas retienen a las partículas es diferente en líquidos y sólidos. En un caso, el del líquido, dejan «huecos» en la estructura, de modo que las partículas pueden, además de vibrar, desplazarse entre ellas ocupando alternativamente esos huecos pero permaneciendo ligadas, pudiéndose adaptar un líquido a la forma del recipiente. En el caso de un sólido, las partículas no pueden realizar ese tipo de desplazamiento por la ausencia de huecos de suficiente tamaño para permitirlo, siendo posible únicamente movimientos de vibración de cada partícula entre las que la rodean. De esta forma se explicaría que los sólidos tengan una forma definida, la que corresponde a la estructura ordenada de sus partículas.

En cuanto a las condiciones para que se produzca un cambio de estado, vemos que, para que un gas se convierta en líquido, será necesario o disminuir la velocidad de las partículas (enfriar), o reducir las distancias entre ellas (recipientes cada vez de menor volumen con el gas sometido a más presión), o ambas cosas, de modo que las fuerzas atractivas lleguen a ser de la intensidad suficiente. Análogamente sucede para el paso de líquidos a sólidos.

Con estas nuevas hipótesis intentamos extender un único modelo para explicar la estructura de la materia en los tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

No obstante, para admitir la validez de lo anterior, conviene clarificar algunos aspectos que se han considerado en el modelo

<sup>10</sup> 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 a una velocidad pequeña.







**A.13.** Partiendo del modelo cinético corpuscular y teniendo en cuenta las diferencias de comportamiento señaladas, explicad, a modo de hipótesis, qué sucede cuando un gas se convierte en líquido y éste en sólido.

En principio, la idea de que existan fuerzas atractivas entre las partículas —que no tendrían influencia ni a grandes distancias ni entre partículas a grandes velocidades (en los gases), pero que serían de gran intensidad a distancias cortas o entre partículas a menor velocidad (en los líquidos y sólidos)<sup>10</sup>— explicaría la gran diferencia de volumen cuando un gas pasa al estado líquido y al sólido.

En estos casos, las partículas en movimiento estarían ligadas, aunque permitiendo movimientos de vibración más o menos amplios según la temperatura, lo que explicaría los pequeños cambios de volumen que pueden sufrir líquidos y sólidos.

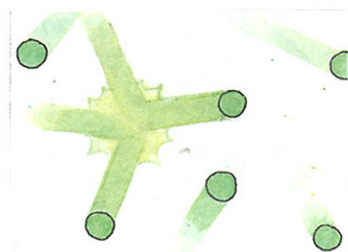
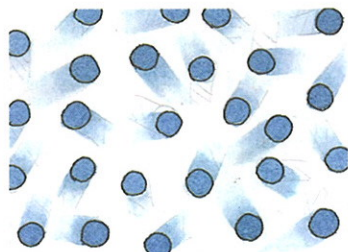
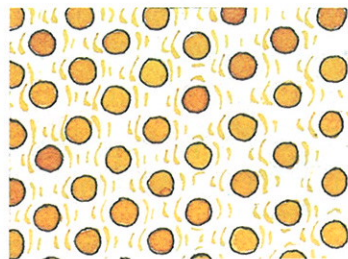
Por último, el hecho de que, al pasar de líquido a sólido, se pierda la propiedad de «fluir», de difundirse, hace pensar que el modo y la intensidad con que las fuerzas atractivas retienen a las partículas es diferente en líquidos y sólidos. En un caso, el del líquido, dejan «huecos» en la estructura, de modo que las partículas pueden, además de vibrar, desplazarse entre ellas ocupando alternativamente esos huecos pero permaneciendo ligadas, pudiéndose adaptar un líquido a la forma del recipiente. En el caso de un sólido, las partículas no pueden realizar ese tipo de desplazamiento por la ausencia de huecos de suficiente tamaño para permitirlo, siendo posible únicamente movimientos de vibración de cada partícula entre las que la rodean. De esta forma se explicaría que los sólidos tengan una forma definida, la que corresponde a la estructura ordenada de sus partículas.

En cuanto a las condiciones para que se produzca un cambio de estado, vemos que, para que un gas se convierta en líquido, será necesario o disminuir la velocidad de las partículas (enfriar), o reducir las distancias entre ellas (recipientes cada vez de menor volumen con el gas sometido a más presión), o ambas cosas, de modo que las fuerzas atractivas lleguen a ser de la intensidad suficiente. Análogamente sucede para el paso de líquidos a sólidos.

Con estas nuevas hipótesis intentamos extender un único modelo para explicar la estructura de la materia en los tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

No obstante, para admitir la validez de lo anterior, conviene clarificar algunos aspectos que se han considerado en el modelo

<sup>10</sup> 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 a una velocidad pequeña.







**E.7.** Los sólidos y líquidos se dilatan al calentarse y se contraen al enfriarse (a excepción del agua). Explicad este hecho.



**E.8.** Se calienta un poco de agua en una lata de aceite vacía y abierta; después de tajarla se deja enfriar: vemos que sus paredes se aplastan. Si calentamos durante un tiempo suficiente, la lata aplastada recupera de nuevo su forma inicial. Explicad estos hechos.

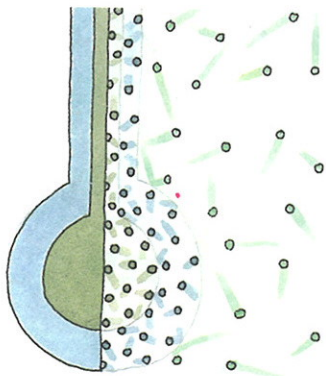
cinético corpuscular. Así, cuando nos referimos a aumentar o disminuir la temperatura, y lo relacionamos con la velocidad de las partículas, sabemos que dichas variaciones son medidas por los termómetros, pero ¿de qué manera lo hacen?



**A.14.** Explicad, utilizando el modelo cinético corpuscular, cómo se detectan los cambios de temperatura del aire en un termómetro.

**A.15.** Explicad que un termómetro en contacto con agua, con aire o con arena pueda marcar lo mismo.

**A.16.** Explicad la existencia de aire a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una barra de metal a  $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Para que el líquido de un termómetro, como por ejemplo el mercurio, cambie su volumen, ha de cambiar la amplitud del movimiento de vibración de sus partículas. Esto puede ocurrir si aumenta su velocidad de vibración al ser las partículas golpeadas por las del cuerpo con el que están en contacto, el vidrio, cuyas partículas también habrán adquirido más velocidad de vibración, debido al contacto con las del aire.

Podría parecer que las partículas de cualquier gas tienen mayor velocidad que las partículas de cualquier líquido, y éstas, a su vez, mayor que las de cualquier sólido. Sin embargo, las medidas de un termómetro en contacto con agua, aire y arena muestran que la velocidad de las partículas de distintas sustancias en diferentes estados puede ser la misma. Más aún, si consideramos la barra de metal a  $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a pesar de ser un sólido, sus partículas han de tener una velocidad de vibración mucho mayor que la del



**D.4.** ¿Cómo es posible que haya hielo a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?



movimiento de las partículas del aire a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si, a pesar de ello, las partículas del hierro se mantienen ligadas, será porque las fuerzas de atracción entre ellas son de gran intensidad.



**A.17.** Explicad por qué los sólidos y los líquidos ofrecen gran resistencia a la compresión.

Si admitimos la existencia de fuerzas atractivas entre las partículas, que justifican el comportamiento de los sólidos y los líquidos, tenemos el problema de explicar por qué cuesta tanto comprimirlos. Parece como si existieran dos tipos de fuerzas entre las partículas: 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 fácilmente).



**A.18.** Realizad una síntesis del modelo cinético 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.

Es el momento de resaltar la validez del modelo que hemos inventado para explicar la estructura de todos los materiales (sea cual sea el estado en que se encuentren) y de hacer hincapié en la coherencia interna de dicho modelo. En efecto, disponemos ahora de una buena teoría acerca de la posible estructura de los materiales (sólidos, líquidos y gases), cuyo núcleo básico podemos resumir en los siguientes puntos:

- ✓ Todos los materiales estarían formados por partículas, o corpúsculos, en continuo movimiento, muy pequeñas y separadas entre sí por el vacío (no hay *nada* entre las partículas). Estas partículas tendrían masa (que es una característica inherente a la materia) y, según esto, la masa de un cuerpo será la suma de las masas de las partículas que la constituyen.
- ✓ Entre las partículas existirían fuerzas atractivas, que tendrían muy poca influencia en los gases y mucha en líquidos y sólidos (cuesta mucho romper un trozo de sólido).
- ✓ El movimiento de las partículas estaría relacionado con la temperatura (mayor movimiento implicaría mayor temperatura). Esto explicaría tanto las dilataciones de los cuerpos dentro de un mismo estado, como los cambios de estado.



**D.5.** Explicad por qué quedan herméticamente cerrados los botes llenos de mermelada cuando, tras calentarlos al «baño María», se cierran y se guardan en la nevera. Explicad también el sonido que se oye al intentar abrir de nuevo los botes para su consumo.