

# Capítulo 13

## ¿Cómo explicar la gran diversidad de materiales y sus transformaciones?

### Una primera aproximación a la estructura de la materia

*Jaime Carrascosa y Carles Furió*

**Comentario preliminar.** Un tema fundamental en cualquier currículo de ciencias es el de los materiales y su estructura. Hay que reconocer que el prodigioso desarrollo experimentado por la química en apenas tres siglos ha sido fruto, en buena medida, del conocimiento de la estructura de la materia.

Entre los objetivos fundamentales de este tema está aproximar a los estudiantes a la enorme diversidad de materiales que nos rodean y tratar de explicar, mediante un modelo unitario, sus propiedades y los cambios físicos o químicos que experimentan. Para llegar a un modelo común se tuvieron que dar históricamente, entre otros, dos pasos fundamentales:

- Superar la separación entre la materia condensada (sólidos y líquidos) y los gases, al constatar que tenían propiedades comunes. El estudio de los gases y la comprobación de que su comportamiento no dependía del tipo de gas, permitió llegar al establecimiento de un modelo microscópico corpuscular que posteriormente se extrapó a sólidos y líquidos.
- Llegar a concebir los materiales ordinarios (mezclas) constituidos por sustancias (definidas macroscópicamente como cuerpos con determinadas propiedades características e invariables) que podían descomponerse o no en otras más sencillas (sustancias compuestas o simples). Ello permitió profundizar el modelo corpuscular gaseoso que se transformó en el modelo atómico-molecular de la materia.

Este capítulo se centrará en el estudio del primero de los dos pasos indicados, o sea tratará de mostrar cómo el estudio de los gases contribuyó de manera determinante al conocimiento actual de la estructura de la materia. Es probable que en algunos países los alumnos estudien nociones sobre el tema antes de llegar al bachillerato. En tal caso, algunas de las actividades que se proponen a continuación pudieran parecer demasiado sencillas. Sin embargo, nuestra experiencia es que siguen siendo útiles para diagnosticar y conectar con lo que ya conocen los estudiantes, para profundizar en el tema, etc.

## INTRODUCCIÓN

En los capítulos precedentes hemos venido estudiado el comportamiento de la materia atendiendo a propiedades generales que son aplicables a todos los objetos físicos, independientemente de cualquier característica específica de los mismos: las leyes de la dinámica o la atracción gravitatoria, por ejemplo, se aplican por igual a materiales de cualquier naturaleza.

Nuestro interés ahora va dirigido a explicar las propiedades específicas que diferencian la enorme diversidad de materiales que nos rodean, así como las transformaciones que los mismos experimentan.

El hecho de que unos materiales se transformen, en determinadas condiciones, en otros de distintas propiedades, hace concebir la posibilidad de un modelo unitario de estructura de la materia que explique tanto la gran diversidad de materiales como los cambios que experimentan.

Esta conjetura se ha mostrado fecunda y el conocimiento de la estructura de la materia ha hecho posible un prodigioso desarrollo de la química moderna.

### A.1. ¿Por qué puede tener interés conocer la naturaleza de los materiales que nos rodean, así como sus propiedades?

**Comentarios A.1.** La pretensión de aprovechar los materiales que la naturaleza pone a nuestro alcance es algo que se relaciona con la propia historia de la humanidad. La leña que arde, el crecimiento de las plantas, las cosas que comemos... tienen mucho que ver con el conocimiento de sus propiedades y capacidad de transformación, que acabó dando lugar a la química como nuevo campo de conocimiento. Los comentarios de los alumnos permiten dejar claro que en apenas tres siglos la química, como disciplina científica, ha contribuido a modificar radicalmente nuestra forma de alimentarnos, de vestirnos, de protegernos contra las enfermedades, de construir nuestras ciudades..., pero no podemos olvidar, y así suele ser constatado en los comentarios de los estudiantes, que también ha contribuido a una creciente contaminación, a preparar armas de destrucción masiva, etc. Ello da lugar a retomar el interesante debate acerca de la responsabilidad de los científicos y de los ciudadanos o la importancia de aplicar sistemáticamente el "principio de prudencia".

Comenzaremos, pues, en este capítulo, el estudio de la estructura de la materia, cuya influencia en el desarrollo de la química y en nuestras formas de vida ha sido tan determinante. Iniciaremos dicho estudio centrándonos en el comportamiento de los gases, dejando para más adelante el análisis de los materiales en los estados sólido o líquido. No se trata,

como veremos, de una cuestión trivial, aunque puede chocar que comencemos ocupándonos de algo cuya materialidad es menos evidente, menos clara, que la de materiales que podemos ver y tocar con más facilidad. Existen, sin embargo, poderosas razones para estudiar, en primer lugar, los gases. De hecho, la contribución de su estudio al establecimiento de la estructura de la materia fue, históricamente, muy notable.

### A.2. ¿Por qué puede ser útil comenzar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento de los gases?

**Comentarios A.2.** Con esta cuestión se pretende que los alumnos lleguen a intuir el interés de ocuparse de los gases debido a que su comportamiento físico es más simple, menos variado que el de los sólidos o líquidos, hasta el punto de que resulta difícil reconocer diferencias entre gases distintos. Ello puede ser una buena ocasión para referirse a cómo los científicos comienzan planteándose situaciones elementales -incluso artificialmente simplificadas- que les resulten asequibles y les permitan “despegar” en el conocimiento. De hecho, cuando la atención de los estudiosos se dirigió hacia la posible explicación del comportamiento de los gases, los avances en la comprensión de la estructura de la materia fueron muy notables, e igual cabe esperar que ocurra en el caso de los alumnos.

Una vez justificada la opción de iniciar el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento físico de los gases, conviene establecer un plan de trabajo para esta aproximación inicial.

### A.3. Propongan un plan de trabajo para el estudio de la estructura de la materia a partir del comportamiento de los gases.

**Comentarios A.3.** A partir de las propuestas de los estudiantes se puede establecer el siguiente programa de trabajo, que se convierte en el índice del tema:

1. Profundización en el estudio del comportamiento físico de los gases, cuyas propiedades han de ser explicadas.
2. Construcción, a título de hipótesis, de un modelo que explique cualitativamente el comportamiento de los gases y sea capaz de *predecir hechos contrastables cuantitativamente*.
3. Consideración de la posibilidad de extrapolación del modelo construido a toda la materia (explicando también el comportamiento de líquidos y sólidos).
4. Consideración de los problemas que quedan planteados tras el estudio realizado (y que convendrá abordar en los temas siguientes).

Es preciso insistir en que la implicación de los estudiantes en esta tarea es fundamental para que adquieran una idea preliminar del hilo conductor del desarrollo de la unidad.

Pasaremos ahora a desarrollar este hilo conductor.

## 1. PROFUNDIZACIÓN EN EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LOS GASES

Conviene revisar, en primer lugar, las ideas que ya tenemos respecto al comportamiento de los gases -fruto, fundamentalmente, de nuestra experiencia cotidiana en relación con el aire- que puedan servirnos de guía para un estudio más detenido.

**A.4. Resuman las ideas y dudas que tengan acerca del comportamiento de los gases, como punto de partida para un estudio detenido de sus propiedades.**

**Comentarios A.4.** Los alumnos disponen ya de ciertos conocimientos, fruto de sus experiencias cotidianas y de estudios anteriores, que les permiten referirse a la facilidad con que los gases se comprimen y expanden, al efecto que tienen sobre su volumen la temperatura y la presión, a la facilidad con que se mezclan, etc. Por otra parte, al subrayar la conveniencia de que expresen también sus dudas se favorece que afloren sus preconcepciones sobre el tema (muchas de ellas bien estudiadas en la literatura, como la idea de que los gases no pesan, no son materiales como los sólidos, etc.). Las ideas expuestas adquieren así el estatus de hipótesis de trabajo en las que convendrá profundizar.

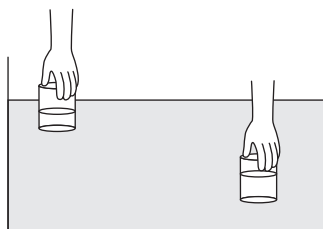
A continuación profundizaremos en las ideas expuestas, sometiendo a prueba las conjeturas enunciadas y clarificando las dudas manifestadas. En primer lugar, nos plantearemos qué hechos o experiencias permiten considerar a los gases tan materiales como los sólidos y líquidos, para después entrar a matizar el resto de las propiedades que les hemos atribuido.

### 1.1 ¿Ocupan volumen los gases?

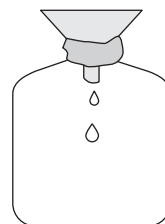
**A.5. Propongan algún experimento que permita mostrar que los gases ocupan volumen. A título de ejemplo: ¿cómo hacer ver que una botella o un vaso que nos parecen “vacíos”, en realidad están llenos de aire?**

**Comentarios A.5.** El que los gases, en general (y muy en particular el aire que nos envuelve), no se vean ni se puedan “tocar”, hace que pasen inadvertidos para los alumnos, a menos que se encuentren en movimiento. Así por ejemplo, cuando se les pregunta cómo saben que hay aire a nuestro alrededor contestan refiriéndose a los efectos que produce el viento o dando, incluso, argumentos más sofisticados, como, por ejemplo, que las nubes viajeras requieren para su flotación un medio (el propio aire) más ligero y extenso que ellas (Séré, 1986). En relación a las respuestas dadas a esta actividad, se proponen experiencias elementales que demuestran que el aire, o cualquier otro gas, ocupa el volumen del recipiente en el que se halla. Ejemplos de experiencias que se pueden proponer y realizar son los siguientes:

**A)** Hundir un vaso boca abajo en un recipiente con agua, como indica la **figura 1** y ver que el agua no llena el vaso. Esta observación, fácilmente realizable (por ejemplo, en la pila de la cocina), permite también mostrar la salida del aire con tan sólo girar lentamente el vaso hacia arriba. La experiencia puede hacerse más “vistosa” con ayuda de un pequeño corcho puesto dentro del vaso, antes de introducirlo en el agua. Una variante consiste en poner pegado al fondo del vaso pequeño un papel y comprobar que por mucho que se hunda no se moja.



**Figura 1.** ¡En el vaso “vacío” hay algo!



**Figura 2.** ¡El líquido del embudo no cae!

**B)** Otra pequeña experiencia que se puede realizar con una botella consiste en acoplarle un embudo (**figura 2**), de manera que el cierre sea hermético (poniendo plastilina, cera, arcilla...), y a continuación añadir agua al embudo. A la pregunta ¿qué podría hacerse para que el agua cayera al fondo de la botella?, se responde con referencias a permitir la salida del aire encerrado, levantando el embudo o, simplemente, pinchando la plastilina o la cera pegada entre el cuello de la botella y el embudo.

**C)** Otra experiencia consiste en tratar de hundir a presión el émbolo de una jeringa de plástico que ha sido cerrada a la llama, o simplemente con un dedo.

Así pues, los gases ocupan volumen como los sólidos y líquidos, si bien se parecen más a estos últimos en cuanto a la facilidad que tienen para fluir, de ahí que se les denomine conjuntamente *fluidos*. Relacionada con esta tendencia a fluir, a escaparse, los gases ocupan todo el volumen disponible del recinto que los contiene, y ello complica tanto su recogida como la medida de volúmenes determinados de aquéllos.

**A.6. Una cualidad importante en los atletas es su capacidad pulmonar (volumen máximo de aire que puede introducir o expulsar una persona de sus pulmones en cada inspiración o espiración). ¿Cómo se puede recoger y medir este volumen de aire?**

**Comentarios A.6.** La recogida y medida del volumen de cualquier gas o del aire espirado se puede hacer sobre un líquido en el que previamente se sabe que no se disuelve. El montaje solicitado puede consistir, por ejemplo, en un tubo acodado introducido en una probeta calibrada e invertida que está llena de agua. Al soplar por dicho tubo se desplaza el agua y se puede medir esta capacidad torácica (**figura 3**). Con relación a esta cuestión de la recogida de gases, puede introducirse una actividad de relación ciencia-tecnología-sociedad-ambiente, cuyo objetivo sea buscar información sobre las formas de almacenar y distribuir el gas utilizado como combustible doméstico en las grandes urbes, las repercusiones de su utilización, teniendo en cuenta los problemas de contaminación asociados, así como el que se trata de un recurso no renovable. En esta información se podrá observar que una de estas formas ha consistido, en las llamadas “fábricas de gas”, en almacenar el gas a baja presión sobre agua en enormes tanques cilíndricos. En la actualidad, en muchos lugares el gas que se utiliza en las casas se transporta directamente en gasoductos procedentes de los yacimientos de gas natural.

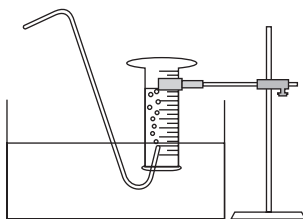


Figura 3. Cómo recoger gases y medir su volumen

Pasemos a analizar si también los gases tienen masa y, por tanto, pesan.

## 1.2. ¿Pesan los gases?

Para confirmar el carácter material de los gases es conveniente mostrar que, además de ocupar volumen, pesan, lo que las experiencias cotidianas parecen contradecir.

**A.7. Ideen algún experimento que muestre que los gases no sólo ocupan un espacio, sino que además tienen masa y, en consecuencia, pesan.**

**Comentarios A.7.** La transparencia unida a la baja densidad habitual de la materia en estado gaseoso son cualidades que hacen pensar al alumnado que los gases no tienen masa como los sólidos y líquidos. Además, cuando creen verlos (por ejemplo, en el caso del humo) ascienden, lo que parece confirmarles que los gases no pesan. (En realidad, como sabemos, el humo se ve porque es una suspensión de ceniza, en forma de polvo muy fino, que asciende debido a corrientes convectivas de aire caliente). La baja densidad de los gases es la que dificulta la operación de pesarlos y de ahí que normalmente sea más cómodo utilizar el volumen cuando se quiere medir una cantidad de gas determinada. No obstante, los alumnos y alumnas proponen ensayos semicuantitativos que permiten mostrar que los gases pesan. Para ello sugieren introducir mayor masa de aire en un volumen dado de la que hay habitualmente. Proponen, por ejemplo, que se puede tomar un balón de baloncesto o una cámara de bicicleta, o mejor de automóvil, vacía y previamente pesada, llenarla de aire y comprobar después su peso. También pueden idear diseños alternativos, como, por ejemplo, meter una de las válvulas que hay en estos neumáticos en un tapón de goma que ajuste muy fuertemente a un frasco y, a continuación, introducir aire con el bombín, teniendo buen cuidado de que no salte el tapón (**figura 4**). Otro diseño podría basarse, por el contrario, en la extracción del aire de un frasco poniendo la misma válvula de neumático invertida o con ayuda de una jeringa hipodérmica de 50 o 100 ml de capacidad.

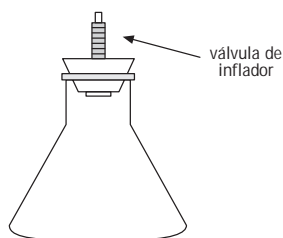


Figura 4. Experimento para contrastar si el aire pesa o no.

Algunos libros citan que puede realizarse una experiencia muy vistosa colgando dos globos hinchados de los extremos de una ligera varilla sujeta de su centro por un hilo, de forma que quede equilibrada. Basta entonces pinchar uno de los globos para constatar que dicha “balanza” se desequilibra notoriamente, debido al mayor peso del globo hinchado. No obstante, esta experiencia es menos clara, puesto que hay que tomar en consideración el empuje que experimenta el globo hinchado. Todas estas experiencias pueden contribuir a hacer patente el peso de los gases. Sin embargo, como la idea de que no pesan es bastante persistente (Furió, Hernández y Harris, 1987), se puede utilizar para evaluar si ha cambiado o no este esquema conceptual, bien al final del tema o bien en este momento, una actividad en la que se les pide que comparen el peso de un frasco cerrado que tiene un poco de éter líquido con el del mismo frasco con el éter vaporizado (figura 5). Se trata, por supuesto, de una experiencia mental, puesto que la vaporización del éter podría resultar peligrosa.

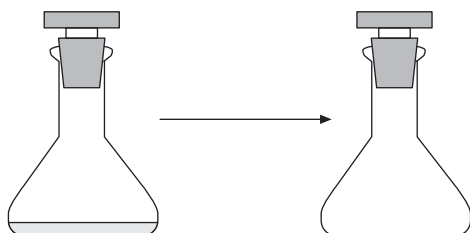


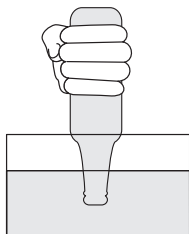
Figura 5. ¿Qué pesará más: el frasco con éter líquido o gaseoso?

Aceptado que los gases pesan podemos relacionar esta idea con el peso del aire atmosférico que nos envuelve y sugerir que, dada la enorme capa de aire que cubre la Tierra, es de esperar que su peso sea muy elevado.

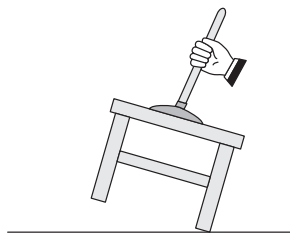
**A.8. Sugieran pruebas de que el aire atmosférico ejerce una gran presión sobre el fondo del “mar de aire” en el que vivimos.**

**Comentarios A.8.** La cuestión del peso de los gases puede asociarse, como hacemos aquí, al estudio de la presión ejercida por la atmósfera gaseosa que envuelve la Tierra. Ello puede dar lugar a numerosas experiencias que los alumnos y alumnas pueden concebir en parte o buscar en algún texto, tales como:

- a) llenar completamente una botella con agua; se invierte al tiempo que se sumerge en el agua de un recipiente y se observa que no cae (**figura 6**);
- b) apretar una ventosa sobre una baldosa o una plancha de plástico duro donde queda pegada (**figura 7**).



**Figura 6.** El agua de la botella no cae.



**Figura 7.** La ventosa se pega.

Son posibles otras muchas experiencias, como, por ejemplo, intentar levantar (sin éxito), mediante un golpe, una regla cubierta por una simple hoja de periódico bien extendida sobre una superficie lisa; o impedir, mediante una simple cartulina, la caída del agua contenida en un vaso invertido; o la realización a pequeña escala del experimento de Von Guericke de “los hemisferios de Magdeburgo” (por ejemplo, mediante dos ventosas).

El interés de este estudio de la presión atmosférica –con sus implicaciones en meteorología, etc.– recomienda un tratamiento más detenido, que hemos incluido en un anexo a este tema, para evitar la pérdida del hilo conductor del estudio de la estructura de la materia. En particular, este estudio constituye un ejemplo histórico de cómo el conocimiento científico se ha ido construyendo mediante debates y controversias y no por simple acumulación de ideas. En este caso, la hipótesis de la existencia del “mar de aire”, defendida por Evangelista Torricelli y Blas Pascal, se contrapuso a la hipótesis del “horror de la naturaleza al vacío”, defendida por los escolásticos. Ahora bien, como su introducción aquí desviaría el itinerario que estamos siguiendo para alcanzar los propósitos perseguidos en este capítulo, se ha preferido incluir esta problemática en un anexo. No obstante, se recomienda su estudio debido al interés histórico y epistemológico que tiene esta problemática.

Una vez mostrado que los gases poseen volumen y masa como los líquidos y los sólidos, podemos entrar a analizar otras propiedades que tienen relación con la posibilidad de aumentar y disminuir su volumen según nos convenga, bien presionándolos o bien calentándolos y enfriándolos.

### 1.3. Los gases se pueden comprimir y expandir fácilmente

**A.9. Propongan alguna experiencia que muestre la facilidad con la que los gases se comprimen y expanden.**

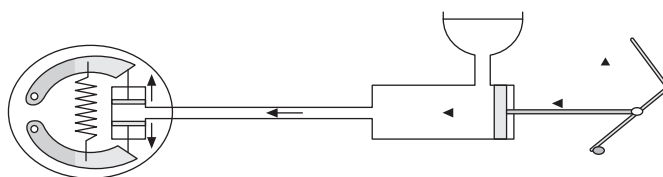
**Comentarios A.9.** Los alumnos no tienen dificultades en sugerir experiencias elementales utilizando jeringuillas cerradas llenas de aire, o una probeta que se hunde boca abajo en un recipiente con agua, o un bombín, etc. Al mismo tiempo, conviene insistir en que la existencia de equilibrio supone aceptar que la fuerza y presión externas realizadas son compensadas por la fuerza y presión que ejerce el gas,



resaltando el hecho de que los gases pueden ejercer presiones muy elevadas y solicitando de los alumnos ejemplos ilustrativos (“el elefante subido sobre una pelota”, “el voluminoso turista durmiendo en la colchoneta de aire”, “la enorme carga de un camión soportada por los neumáticos”).

Conviene poner de relieve esta compresibilidad de los gases, a diferencia de los líquidos, debido a los efectos negativos que se producen cuando se introducen gases en conducciones de líquidos. Algunos ejemplos que se pueden traer a colación son los siguientes:

- A) Se puede mostrar el funcionamiento de unos frenos hidráulicos con un esquema como el de la **figura 8** y solicitar la predicción de qué ocurrirá si en el sistema se forma una burbuja de aire.



**Figura 8.** Esquema de los frenos hidráulicos del automóvil.

- B) En medicina, cuando se habla de una “*embolia gaseosa*”, se hace referencia a la introducción de una burbuja de gas en el interior de un vaso sanguíneo (como la formación de una burbuja de nitrógeno en las venas de un submarinista que asciende sin haber esperado el tiempo aconsejado para una descompresión suficiente). Se puede dar una explicación simplificada de estos hechos aceptando que la formación o introducción de burbujas gaseosas en estas conducciones pueden cortar la transmisión del aumento de presión a través de la sangre. En efecto, cuando este aumento de presión, llega a una de estas burbujas, se reduce su tamaño y no se transmite totalmente la presión por lo que el líquido no circula con la misma facilidad.

Pasemos a continuación a estudiar otra conocida propiedad de los gases, como la variación de volumen y/o de presión con la temperatura.

#### 1.4. Los gases cambian de volumen o de presión cuando se les calienta o enfría

- A.10. Propongan sencillos montajes o comenten algunas situaciones de la vida ordinaria donde se ponga en evidencia la variación de volumen de un gas con la temperatura.

**Comentarios A.10.** Aquí se trata de introducir cualitativamente la dilatación y contracción térmicas de gases, lo que exige la distinción entre las tres situaciones que se pueden dar: que al aumentar la temperatura del gas aumente su volumen (siempre que se mantenga constante la presión del gas), que es el caso que se plantea en esta actividad; que al calentar el gas aumente su presión (siempre que se mantenga constante el volumen); y que el cambio de temperatura se traduzca en una variación simultánea de presión y volumen. Éste es, sin duda, el caso más general. La situación se convierte así en una ocasión para realizar un ejercicio elemental de control

de variables que obliga a considerar el fenómeno en toda su complejidad y a comprender el peligro de los análisis incompletos: no se puede decir, por ejemplo, lo que le ocurrirá al volumen cuando calentamos, si no tenemos en cuenta lo que sucede con la presión. Los estudiantes suelen proponer experiencias como aproximar un globo a un foco calorífico (radiador, plancha caliente...), teniendo buen cuidado de que no se queme la goma, o, por el contrario, meter el globo muy hinchado en el congelador de la nevera. En todas ellas se muestra cualitativamente que los gases cuando se calientan o se enfrían pueden aumentar o disminuir su volumen, pero son situaciones en las que varía también la presión. Para lograr que sólo varíe el volumen hay que pensar en, por ejemplo, un recipiente rígido provisto de un émbolo que se deslice con facilidad para que la presión se mantenga constantemente igual a la atmosférica.

En cualquier caso, las variaciones de volumen que experimentan los gases con la temperatura pueden relacionarse con fenómenos como el ascenso del aire caliente (menos denso debido al aumento de volumen) y el desplazamiento de aire frío que viene a ocupar su lugar. Eso es lo que explica, por ejemplo, las brisas nocturnas o el ascenso de los globos que funcionan con un calefactor.

#### A.11. Conciban experiencias u observaciones cotidianas que muestren la variación de la presión de un gas al aumentar o disminuir su temperatura.

**Comentarios A.11.** El análisis de variables realizado lleva a los estudiantes a pensar en el calentamiento o enfriamiento de un gas que está encerrado en un recipiente rígido para que no se produzca una dilatación o contracción de su volumen. Proponen así ensayos sencillos como comparar la dureza del balón de fútbol muy hinchado y caliente con la que tiene cuando se guarda por la noche; o comprobar, por ejemplo, en una gasolinera la presión manométrica de las ruedas del vehículo antes y después de recorrer un largo trayecto.

Otra experiencia puede consistir en colocar sobre el cuello mojado de una botella vacía una moneda ligera (**figura 9**), de manera que cierre herméticamente la boca de salida. Al rodear la botella con las manos se observará que la moneda empieza a dar saltos. Los alumnos han de llegar a comprender que, mientras se calienta con las manos y se mantiene cerrada la botella, aumentará la presión del aire encerrado hasta que vence el peso de la moneda, escapando aire, con lo que la presión vuelve a disminuir, se cierra de nuevo la botella y se inicia otra vez el calentamiento del gas encerrado.

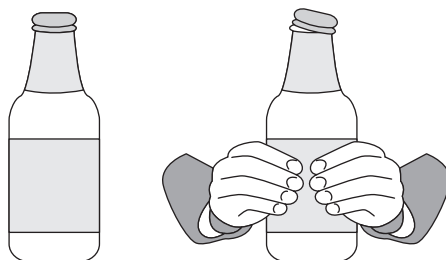


Figura 9. Experiencias para mostrar la variación de presión del aire con la temperatura.

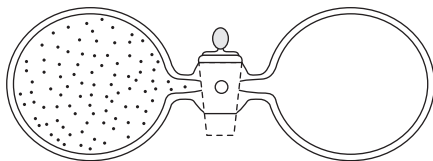
Se puede hacer referencia a que esta variación del volumen y/o de la presión con la temperatura es de gran importancia y utilidad, pues puede ser aprovechada, por ejemplo, para construir termómetros de gases o para explicar fenómenos naturales conocidos, como el origen de las brisas marinas diurnas o nocturnas, a las que ya hemos hecho referencia, pero que no deben desviarnos del objetivo central de este tema, que es establecer con alguna precisión el comportamiento de los gases para imaginar seguidamente una estructura de los mismos que justifique dicho comportamiento.

Pasemos, finalmente, a mostrar que los gases se pueden mezclar, por sí solos, con mucha facilidad, propiedad conocida como *difusión*.

### 1.5. Los gases se difunden con mucha facilidad

#### A.12. ¿Cómo probar que los gases se mezclan por sí solos muy fácilmente?

**Comentarios A.12.** Esta propiedad es la que menos mencionan los alumnos cuando exponen sus ideas acerca del comportamiento de los gases. Sin embargo, una vez planteada la cuestión, conciben montajes experimentales adecuados y proponen diseños utilizando sustancias gaseosas que sean perceptibles bien por su color, por su olor, o por cualquier otra propiedad que sea detectable sensiblemente en aquellos puntos del espacio al que se supone que van a llegar trazas de dichos gases. Uno de estos diseños puede consistir en tomar dos recipientes interconectados por una llave de paso, como los de la **figura 10**, e introducir en uno de ellos un gas coloreado (por ejemplo, el obtenido al calentar suavemente unos cristales de yodo), y en el otro, aire. La difusión se observará fácilmente al abrir la llave. También se pueden utilizar esencias aromáticas volátiles que sean preferentemente de olores agradables.



**Figura 10.** Experiencia para mostrar la difusión de los gases.

Otro ensayo bastante espectacular que puede presentar el profesor para que lo interpreten los alumnos consiste en introducir en cada uno de los extremos de un tubo largo, colocado horizontalmente, sendos algodones empapados en ácido clorhídrico y amoníaco. Inmediatamente se observará la formación en su interior de una nube blanca de polvo de cloruro de amonio en suspensión que se extenderá a lo largo del tubo (**Figura 11**).



Figura 11. Los gases amoníaco y HCl se difunden en el tubo hasta que reaccionan.

Este ensayo es de interpretación compleja para los alumnos ya, que no solamente hay difusión de los reaccionantes, sino también proceso químico con formación de una nueva sustancia, pero se trata de centrarse tan sólo en la evidente facilidad con que se difunden las emanaciones gaseosas del amoníaco y del HCl.

## 1.6. Recapitulación de las propiedades de los gases

**A.13. Resuman en un cuadro aquellas propiedades más importantes de los gases que muestran su comportamiento unitario.**

**Comentarios A.13.** Esta recapitulación tienen por objeto efectuar una síntesis de todo el apartado 1 del tema donde se destaquen aquellas propiedades que son convergentes a la hora de mostrar la simplicidad del comportamiento macroscópico de los gases y, más en concreto, la difusión, la compresión-expansión y la dilatación-contracción térmicas de los mismos.

## 2. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO PARA LA ESTRUCTURA DE LOS GASES QUE EXPLIQUE SU COMPORTAMIENTO FÍSICO

Una vez estudiado el comportamiento físico de los gases, estamos en disposición de afrontar el desafío de idear, a título de hipótesis, un modelo sobre la estructura de los gases que pueda explicar de forma coherente *el conjunto* de sus propiedades.

**A.14. Propongan, a título de hipótesis, cómo pueden estar formados los gases, de manera que su estructura nos permita explicar el conjunto de propiedades que hemos descrito; es decir, la facilidad con que se difunden y mezclan con otros gases, su gran compresibilidad y facilidad para expandirse y las variaciones de presión y/o volumen con la temperatura.**

**Comentarios A.14.** Se inicia aquí la construcción de un modelo que permita, a título de hipótesis, explicar de forma coherente todas y cada una de las propiedades reseñadas. La mayoría del alumnado sugiere, de entrada, un modelo corpuscular o atomista, si bien, en general, no tiene los mismos atributos que el modelo cinético manejado por los científicos. Así, por ejemplo, se suele presentar a veces un modelo de partículas que carece de vacíos grandes entre aquéllas y que tiene problemas para explicar el movimiento de las partículas (Novick y Nussbaum, 1981; Furió y Hernández, 1983). No obstante, estas ideas no deben interpretarse como concepciones alternativas fuertemente estables, sino como simples construcciones tentativas puntuales que tratan de dar una respuesta “local” a una propiedad determinada (Benarroch, 2001; Oliva et al., 2003). Así, se suele presentar un modelo alternativo lleno de partículas que explica el fenómeno de la compresión y dilatación atribuyendo

plasticidad y elasticidad a las propias partículas, no sólo frente al aumento de presión, sino también frente a una variación de la temperatura (Llorens, 1988). De ahí que sea necesario incidir en la búsqueda de coherencia del modelo para explicar *todas* las propiedades. De este modo, las experiencias de difusión obligan a concebir un modelo de partículas en movimiento, ya que hay que explicar que, por ejemplo, el amoníaco se huele a distancia al poco tiempo de abrir el frasco. Y la facilidad que tienen los gases para comprimirse lleva a concebir que las partículas del gas son de tamaño despreciable y la existencia de grandes espacios vacíos en el volumen que ocupa el gas permite explicar el movimiento de dichas partículas. Respecto a la presión que hace el gas sobre las paredes, que puede llegar a ser, como ya se ha visto, muy alta, los alumnos pueden interpretarla como el resultado de los choques de millones y millones de partículas dotadas de elevadas velocidades sobre esas paredes. Por último, la influencia de la temperatura en la presión y/o el volumen, la interpretan asociando la temperatura a la velocidad de las partículas (lo que puede aceptarse en primera aproximación, pero matizando que no se trata de una relación directa). En resumen, puede constatarse que cuando se solicita una interpretación *global* del conjunto de propiedades de los gases, sin olvidar su difusión, las alumnas y alumnos abandonan las ideas contradictorias con el modelo elemental cinético de los gases sostenidas inicialmente (Hernández y Furió, 1987).

En definitiva, el modelo de gas ideal permite interpretar más coherentemente el comportamiento físico de los gases que otras concepciones alternativas, y los mismos alumnos pueden resumir al final del debate de esta actividad sus características particulares, tales como:

- a) una estructura en forma de partículas de tamaño insignificante frente al volumen en el que se hallan, que se encuentra, pues, prácticamente vacío;
- b) estas partículas con elevadas velocidades originan una presión al chocar con lo que se interponga a su paso;
- c) la temperatura del gas está relacionada con la velocidad (media) de las partículas (más bien, es con la energía cinética promedio del conjunto de partículas).
- d) Se entiende que en este gas, denominado "ideal" por las simplificaciones introducidas, son despreciables las interacciones atractivas entre sus partículas debido a sus elevadas velocidades y a la separación entre las mismas.

Ahora convendrá detenerse en comprobar en qué medida el alumnado ha sustituido sus ideas iniciales, mediante la propuesta de diversas situaciones en cuyas interpretaciones se deberá aplicar este modelo de partículas. Comenzaremos planteando dos sencillas actividades (Martínez Torregrosa et al., 1997).

A.15. Con ayuda de una jeringa se extrae aire de un matraz. Suponiendo que pudieran verse las partículas que componen el aire del matraz, dibujen un esquema de lo que se vería antes y después de sacar el aire.

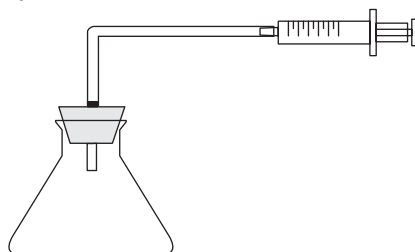


Figura 12. Extracción de aire de un matraz.

A.16. Dos globos están conectados a un matraz, como indica la figura. Expliquen lo que ocurrirá al calentar el matraz; representen las partículas del aire antes y después de calentar.

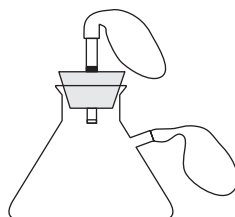


Figura 13. ¿Qué ocurre al calentar el matraz?

**Comentarios A.15 y A.16.** Se trata de actividades destinadas a poner a prueba la coherencia con que los alumnos aplican el modelo corpuscular que acaban de construir y, más aún, a facilitar el afianzamiento y mejor comprensión de dicho modelo. Como explican Martínez Torregrosa et al. (1997), es frecuente que en la actividad A.15 algunos alumnos hagan dibujos como el de la figura 14.

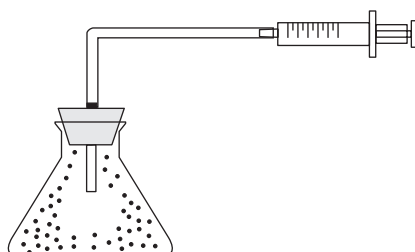


Figura 14. ¿Es este dibujo coherente con el modelo corpuscular introducido?

Cabe insistir entonces en la idea de movimiento caótico de las partículas en todas direcciones, que lleva a su distribución homogénea en todo el recipiente (lo que era necesario, por ejemplo, para explicar la difusión).

También en la actividad A.16 pueden aparecer errores, como no dibujar partículas en los globos deshinchados, o suponer que sólo se hincha el globo superior, "puesto que el aire caliente va hacia arriba".

Se puede ahora profundizar en el modelo, proponiendo su utilización para realizar *predicciones* susceptibles de ser puestas a prueba experimentalmente.

**A.17. Considerando el modelo propuesto, ¿de qué factores dependerá la presión de un gas? ¿Cómo influirán estos factores? Propongan ejemplos de la vida ordinaria que apoyen las hipótesis.**

**Comentarios A.17.** Se pretende aquí someter a prueba, de una forma más rigurosa, la validez del modelo de gas introducido mediante la emisión de hipótesis derivadas del mismo que los alumnos expresarán inicialmente en forma semicuantitativa (por ejemplo, “a mayor volumen, el gas tendrá menos presión”). En principio, no es fácil para el alumnado el abordaje de situaciones como la propuesta, donde una variable, en este caso la presión  $P$ , depende de varias magnitudes. Convendrá iniciarlos (si no lo han hecho anteriormente) en que cualquier análisis funcional como el que se solicita requiere estudiar por separado cómo depende la presión de cada una de las variables estimadas. Ello presupone necesariamente que, en cada relación concreta, se controlen las variables restantes. Es lógico que, en esta fase de emisión de hipótesis, los alumnos y alumnas planteen todo tipo de dependencias entre la presión y variables macroscópicas (volumen  $V$ , temperatura  $t$  y masa  $m$  del gas) y submicroscópicas (cantidad de partículas, velocidad e incluso masa y tamaño de las mismas). Por tanto, esta actividad requerirá la intervención del profesor para reformular las respuestas haciendo ver, por ejemplo, que la velocidad de las partículas ya está relacionada con la propia temperatura del gas. La única variable microscópica que importa para explicar la presión es el número de partículas, pues todas tienen tamaño despreciable y se comportan igual. Naturalmente, si se contempla el número de partículas como variable, ya no tiene sentido incluir la masa  $m$ . Se puede así llegar a establecer la siguiente relación de dependencia:  $P = f(N, t, V)$ , que se completa con las siguientes consideraciones cualitativas:

- a) La presión,  $P$ , ha de aumentar con la temperatura,  $t$ , si permanecen constantes el volumen,  $V$ , y el número de partículas,  $n$ . Es decir, sugieren una relación del tipo:  $P/t = \text{cte.}$  (para  $N$  y  $V$  constantes). Cabe recordar que los alumnos desconocen todavía la escala absoluta de la temperatura. El desarrollo de esta investigación permitirá, precisamente, introducirla.
- b) Del mismo modo, el alumnado propone razonadamente las relaciones  $P \cdot V = \text{cte.}$  (para  $N$  y  $t$  constantes),  $P/N = \text{cte.}$  (para  $V$  y  $t$  constantes) y  $V/t = \text{cte.}$  (para  $P$  y  $t$  constantes). Más adelante, cuando los estudiantes intenten contrastar experimentalmente esta última relación, comprobarán que no es totalmente correcta. Ése será el momento de introducir de una manera sencilla la escala Kelvin de temperatura.

Mientras todavía no ha sido introducida la escala Kelvin de temperatura, los estudiantes conciben la expresión general:  $P \cdot V = kNt$ , que engloba a todas las anteriores, donde  $k$  sería una constante común para todos los gases. Más adelante comprobarán que la expresión correcta es  $P \cdot V = k \cdot N T$ , donde  $T$  es la temperatura medida en la escala Kelvin.

Ahora nos detendremos en el estudio cuantitativo de cómo depende la presión del gas con el volumen, siempre que se mantengan constantes tanto la temperatura como la cantidad de partículas (masa) del gas encerrado.

**A.18. Diseñen un montaje experimental que permita contrastar la relación supuesta entre la presión y el volumen ocupado por un gas.**

**Comentarios A.18.** Los alumnos sugieren la utilización de un cilindro transparente, provisto de un émbolo, que pueda subir y bajar fácilmente presionando sobre cierta cantidad de gas. Una simple jeringuilla, o bien una probeta graduada, como se describe en el *Nuevo Manual para la Enseñanza de las Ciencias* (UNESCO, 1975), puede 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 jeringuillas de plástico de 10 ml permite, tomando algunas precauciones, obtener resultados bastante correctos. Entre estas precauciones se pueden mencionar las siguientes:

- 1) Para cerrar la jeringuilla, los alumnos proponen, entre otros procedimientos: fundir con una llama la parte más estrecha, poner un tapón de goma sobre la mesa y presionar sobre él la jeringuilla, hundir la hipodérmica sobre un tapón de corcho, etc. Excepto el último caso, los demás funcionan bastante bien.
- 2) Hay que tener en cuenta la fricción (se puede utilizar algún lubricante pero, en todo caso, conviene presionar ligera y rápidamente varias veces con la mano hasta constatar que la posición del émbolo no varía).
- 3) Las pesas han de ser lo más planas posible (va muy bien un cilindro de hierro cortado en discos de manera que cada uno pese unos 200 gramos). Los resultados obtenidos son bastante aceptables.

**A.19. Realicen el experimento concebido y analicen los resultados obtenidos.**

**Comentarios A.19.** Los alumnos, que ya han realizado numerosas representaciones gráficas, recurren a representar  $P = f(V)$ , que según la hipótesis manejada debe de conducir a una rama de hipérbola. Conviene llevarles a realizar una representación que proporcione –siempre según la hipótesis– una línea recta. Ello conduce a  $P = f(1/V)$ . Ésta es una buena oportunidad para que los alumnos utilicen algunos de los programas informáticos disponibles, a fin de realizar los cálculos y construir los gráficos correspondientes, aunque se trate de un caso muy simple. Normalmente, es necesario que el profesor haga 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:  $P_0 + 1$ ,  $P_0 + 2$ ,  $P_0 + 3$ , etc. Ahora basta tomar el valor  $P_0$  como origen en el eje de presiones (es decir, desplazar la escala) para poder considerar como valores de la presión 1, 2, 3, etc. Es importante no añadir demasiadas pesas, pues si aumentamos mucho la presión pueden producirse escapes de aire por el émbolo.

Los resultados obtenidos, si se han adoptado las precauciones indicadas en la actividad anterior, 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, el profesor puede recurrir (después de que los alumnos realicen los experimentos correspondientes) a comentar los trabajos realizados por Boyle y por Mariotte.



Con este mismo objetivo se puede hacer uso, también, de tablas de resultados obtenidas en experimentos realizados por científicos, muchas veces en condiciones más rigurosas que las de un laboratorio escolar. En este sentido, se propone cualquiera de las dos actividades siguientes:

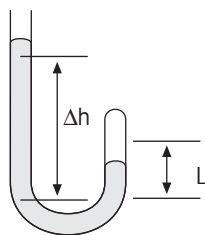
**A.20.** Se ha medido el volumen ocupado por una cierta cantidad de gas a temperatura constante, para distintas presiones, obteniendo la siguiente tabla de valores. Procedan al análisis de estos resultados.

$P$ (en atm)	9	15	21	45	63
$V$ (en litros)	70	42	30	14	10

**A.20 (bis).** En un experimento original, Boyle midió la longitud,  $L$ , (directamente proporcional al volumen) de una columna de gas, en función de la presión ejercida por una columna de mercurio  $\Delta h$  (ver figura). Con este procedimiento obtuvo la tabla siguiente:

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

(La presión atmosférica se midió en todos los casos y resultó ser de 75 cm Hg). Procedan al análisis de los resultados obtenidos.



**Figura 15.** Un diseño experimental para ver si se cumple  $PV = k$ .

**Comentarios A.20 y A.20 (bis).** 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 proporcionar una imagen del trabajo científico más próxima a la realidad, sino que, también, pueden utilizarse actividades del mismo tipo, cuando la realización material de un experimento resulta difícil de llevar a cabo (por complejidad del montaje, falta de medios técnicos, falta de tiempo, etc.). Ello no disminuye el carácter de indagación del trabajo realizado (muchos investigadores recurren a otros equipos para la realización de experiencias complejas). En cualquier caso, no es preciso ni conveniente el 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 el material disponible, y proporcionar tablas de datos de los otros aspectos para que los alumnos y alumnas analicen y extraigan las oportunas conclusiones. O, si se prefiere, se puede simplemente señalar que, de igual modo, se puede constatar la validez de las restantes expresiones. De ahí que las tres actividades siguientes se propongan con carácter opcional.

- A.21. (opcional) Diseñen un montaje que permita contrastar la relación  $V/T = \text{cte.}$  para una masa dada de gas ( $N = \text{cte.}$ ) a presión constante.**
- A.22. (opcional) Procedan a la realización del experimento diseñado y al análisis de los resultados obtenidos.**
- A.23. (opcional) Se ha procedido a medir el volumen ocupado por una masa dada de un gas a presión constante, para distintas temperaturas, obteniendo los valores de la tabla. Analicen dichos resultados.**

t (°C)	0	10	20	30	40	50	60
V (cm <sup>3</sup> )	9.100	9.430	9.770	10.100	10.400	10.800	11.100

**Comentarios A.21 a A.23.** En los comentarios anteriores ya nos hemos referido en parte a estas actividades. En la A.21, los alumnos suelen indicar la posibilidad de sumergir una jeringuilla en agua y calentar a baño maría el gas, obteniendo así una tabla del volumen frente a la temperatura. Naturalmente, las variaciones de volumen resultan inapreciables cuando se utiliza una jeringuilla y es preciso pensar en diseños algo más sofisticados, como el utilizado por Gay Lussac (Holton y Roller, 1963), consistente en un matraz grande provisto de un capilar horizontal calibrado y cerrado por una gota de mercurio, lo que permite medir con facilidad pequeñas variaciones de volumen, calentando uniformemente el matraz al baño de maría, sin que se modifique la presión. Dado que el montaje experimental es bastante exigente, se puede pasar directamente a la actividad siguiente (A.23), en donde se da ya una tabla de resultados “obtenidos por otros equipos”.

Un aspecto interesante es la extrapolación de la gráfica obtenida a partir de los datos proporcionados en A.23, para ver a qué temperatura el volumen del gas se haría cero (lo que sugiere la existencia de un cero absoluto). Aunque, obviamente, éste sea un proceso irrealizable (ya que a cierta temperatura finita todo el gas se condensará formando un líquido), no por ello esta extrapolación (o la de los valores de  $P = f(t)$  a  $V$  constante) deja de ser indicativa de la existencia de un límite inferior de temperatura, predicho también (y conviene señalarlo) al considerar otras situaciones físicas. Así pues, existe abundante evidencia experimental acerca del carácter de límite inalcanzable que posee el cero absoluto.

Mediante experimentos como los realizados y otros mucho más precisos, se ha verificado la validez aproximada de las hipótesis emitidas, apoyando la idea de una estructura discontinua de la materia gaseosa, que estaría formada por partículas de tamaño despreciable respecto al volumen que ocupa el gas.

- A.24. La expresión  $PV = kNT$ , conocida como “ley de los gases perfectos”, no se cumple en la realidad más que de forma aproximada, habiéndose observado que cuánto mayor es la presión a que se somete un gas, menos se ajusta su comportamiento a dicha ecuación. Tratar de justificar este hecho.**

**Comentarios A.24.** Con esta actividad se pretende que los alumnos lleguen a comprender el carácter de aproximación que la ley  $PV/T = \text{cte.}$  (y, en general, cualquier ley) tiene. Por supuesto, los alumnos son capaces de entender que si se aumenta mucho la presión a que se somete un gas, las condiciones consideradas en el modelo se alteran: ya no puede suponerse que el volumen ocupado por las partículas sea

despreciable en comparación con el volumen del recipiente, ni tampoco que las partículas no se ejerzan entre ellas otras fuerzas que las de la colisión.

**A.25. Una jeringuilla herméticamente cerrada tiene 10 cm<sup>3</sup> de aire a la presión de 1 atmósfera y a 25° C de temperatura. Calcular:**

- La presión que ejerce sobre las paredes el aire contenido cuando ocupa un volumen de 3 cc a la temperatura de 25° C.
- El volumen que ocupará el aire contenido si, dejando libre el émbolo desde su posición inicial, elevamos la temperatura a 50° C.
- La presión del aire cuando la temperatura se eleve a 50° C pero manteniendo fijo el émbolo en su posición inicial.

**Comentarios A.25.** Se trata de un ejemplo de actividad para el manejo de las leyes estudiadas, con objeto de conseguir la familiarización de los alumnos con las mismas.

Una vez se ha propuesto un modelo de partículas para la estructura de los gases, no debemos olvidar que la meta que perseguíamos desde el comienzo de este estudio era buscar una estructura común a todos los materiales, independientemente de la forma o estado físico con que se presenten.

### 3. ¿SE PUEDE EXTRAPOLAR EL MODELO CORPUSCULAR DE LA MATERIA GASEOSA A LOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS?

El estudio que se ha realizado nos ha llevado a concebir un modelo corpuscular para los gases y ahora vamos a ver en qué medida puede ser extensible a los sólidos y líquidos. Es decir, intentaremos justificar la validez de la hipótesis corpuscular para interpretar también el comportamiento de los estados condensados de la materia. Primeramente, nos referiremos a las posibilidades de transformación de los gases en líquidos y sólidos. La importancia de este estudio es obvia: si pudiéramos concluir que cualquier sustancia puede pasar de gas a líquido o sólido y viceversa, cabría pensar que también los líquidos y sólidos están formados por partículas.

Esta hipótesis exigiría, naturalmente, explicar cómo tiene lugar el paso de las partículas libres de un gas a la situación aparentemente compacta y continua de un sólido o un líquido y poder dar cuenta de sus propiedades. Así pues, dedicaremos este apartado a:

- Estudiar si es posible licuar y solidificar cualquier gas (o viceversa).
- Explicar con el modelo de partículas cómo pueden tener lugar estos “cambios de estado”.
- Intentar mostrar que el comportamiento de líquidos y sólidos se explica con la existencia de partículas.

#### 3.1. Los cambios de estado en la materia ordinaria. ¿Se puede tener aire sólido o hierro gaseoso?

En lenguaje coloquial acostumbramos a decir que el aire es un gas, el alcohol un líquido o el hierro un sólido, y clasificamos los materiales y sustancias en cada uno de estos estados físicos. Por otra parte, sabemos que el agua pasa fácilmente a hielo o vapor según las condiciones a que la sometamos. Pero, ¿estos cambios de estado que suceden en el agua pueden ser experimentados por cualquier otra sustancia?

**A.26. Propongan ejemplos, tomados de la vida cotidiana, de sustancias que puedan encontrarse en los distintos estados sólido, líquido y gaseoso.**

**A.27. Sugieran algún procedimiento para licuar los gases.**

**Comentarios A.26 y A.27.** Los alumnos pueden referirse a situaciones tan distintas como la fusión del hierro en una siderúrgica, a las botellas de gas líquido (visible en algunos encendedores transparentes), la condensación de vapor de agua en una superficie fría, etc.

Se pueden completar estas observaciones haciendo que los propios alumnos fundan naftalina, azufre, metales como el estaño o sublimen alguna sustancia como el yodo o la misma naftalina (en este último caso, se ha de hacer en una vitrina de gases).

Las referencias a estos distintos ejemplos puede ir acompañada de consideraciones sobre el interés de estos procesos, sobre el peligro de almacenamiento de gases combustibles u otros aspectos de relación CTSA.

En la actividad A.27 conviene evitar la asociación exclusiva de la licuación de gases con su enfriamiento poniéndoles en contacto con un material muy frío. Los estudiantes han de saber que hay otros procedimientos para licuar un gas, como es tenerlo a una elevada presión y someterlo a expansiones rápidas y sucesivas que consiguen bajar mucho su temperatura. También se pueden licuar los gases comprimiéndolos mucho.

Lo esencial de este estudio de los cambios de estado (que se retomará cuando se estudien los fenómenos caloríficos) es tan sólo establecer la vinculación entre los gases y otros estados en que suele presentarse la materia ordinaria terrestre. Una vez verificada dicha vinculación, se trata ahora de ver cómo pueden explicarse los cambios de estado con ayuda del modelo corpuscular.

**A.28. Expliquen, con ayuda del modelo corpuscular de los gases, cómo puede tener lugar el paso de gas a líquido.**

**Comentarios A.28.** Las dos actividades anteriores, A.26 y A.27, han permitido ver que los gases pueden licuarse tanto por enfriamiento directo como comprimiéndolos. Ambas formas pueden explicarse con ayuda del modelo de partículas, si se introduce la hipótesis adicional de la existencia de fuerzas de unión entre las partículas (que en los gases no serían apreciables, debido a las enormes distancias existentes entre las partículas y a sus elevadas velocidades). En el primer caso, los alumnos comprenden que el enfriamiento del gas supone disminuir la velocidad de las partículas hasta el punto de que las fuerzas atractivas no sean despreciables frente a la agitación propia de las partículas en el estado gaseoso y lleguen finalmente a enlazarse. Por otra parte, la compresión a que se somete al gas obliga a que el volumen en el que se mueven la partículas sea cada vez más pequeño y se favorezca así la interacción entre ellas, llegando también a unirse. Así pues, el modelo corpuscular parece que puede interpretar esta formación de líquidos siempre que se admita la existencia de interacciones entre las partículas y se produzca una elevada reducción de los grandes vacíos que se suponía existían en la estructura de los gases. Por esta razón, a los líquidos y sólidos se les suele denominar "materia condensada".

Pasaremos finalmente a ver en qué medida la estructura corpuscular permite explicar algunas propiedades de los sólidos y los líquidos.

### 3.2. ¿Siguen estando separadas y moviéndose las partículas en líquidos y sólidos?

La existencia de los cambios de estado nos ha permitido extender el modelo corpuscular a líquidos y sólidos, sin más que tener en cuenta que las partículas pueden interactuar entre sí llegando a unirse cuando las condiciones de temperatura y presión lo permiten. Ahora continuaremos aplicando cualitativamente este modelo corpuscular para ver si con él se pueden interpretar también las propiedades de los sólidos y líquidos, como, por ejemplo, su dilatación, la difusión de líquidos miscibles o la disolución de sólidos en líquidos.

**A.29. Propongan algunas observaciones y experiencias que apoyen la hipótesis de que en los sólidos y líquidos sigue habiendo partículas en movimiento y huecos en sus estructuras.**

**A.30. Los sólidos y líquidos cuando se calientan o enfrían se dilatan o contraen, respectivamente. Esta dilatación y contracción suelen ser muy pequeñas (del orden de un 0,5% de su tamaño por cada 100° C que sube su temperatura). Explicar esta propiedad con ayuda del modelo de partículas de la materia.**

#### Comentarios A.29 y A.30

En A.29 se pueden proponer experiencias de difusión al mezclar líquidos teniendo en cuenta que uno de ellos sea coloreado y que se han de mezclar con mucho cuidado; también se pueden realizar las experiencias de disolución de sólidos iónicos fuertemente coloreados, como el permanganato o el dicromato de potasio. En ambos tipos de ensayos se percibe muy claramente cómo se difunden a través del disolvente. Aquí, el alumnado recurre a los argumentos ya empleados para explicar la difusión en gases tratada en el apartado 1.5, que vienen a confirmar el movimiento de las partículas disueltas en la estructura del líquido. La interpretación lleva a aceptar la existencia de huecos en esta última que permitan el movimiento percibido.

Otra experiencia que se puede planificar y realizar en un laboratorio escolar es la disolución de metanol en agua y comprobar que la suma de volúmenes iniciales de los líquidos es un poco menor que el volumen de la mezcla. Es evidente que este ejemplo requiere de una interpretación estructural. Una explicación plausible sería aquella que imaginara la posible ubicación de las pequeñas partículas de metanol en algunos de los huecos que presenta una estructura tan abierta como la del agua y, en consecuencia, se obtiene otra más compacta y de menor volumen. Conviene indicar que no sólo es un problema espacial, asimismo, debido a las interacciones entre las partículas. Al mismo tiempo, también es cierto que la disolución de otras sustancias en agua puede tener un efecto contrario de aumento de volumen (caso del ácido sulfúrico en agua).

Se puede concluir, pues, que el movimiento sigue siendo consustancial para las partículas, pero debido a las atracciones de las que les rodean, se restringe su libertad de desplazamiento en forma de movimientos vibratorios estrechamente ligados a la temperatura del sistema material. Así pues, al elevar su temperatura aumentará la intensidad de las vibraciones y con ellas la sección eficaz ocupada por cada partícula.

#### 4. NUEVOS PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS

Como hemos visto, se ha cubierto el principal objetivo de esta primera parte del tema: imaginar un modelo de estructura para la materia que permitiera explicar de forma coherente el mayor número posible de propiedades de gases, líquidos y sólidos. Ahora bien, como era de esperar, los nuevos conocimientos adquiridos tienen que superar nuevos desafíos que se presentan en forma de problemas.

##### **A.31. Planteen nuevas preguntas relacionadas con la estructura de la materia que en el desarrollo del tema no hayan surgido y consideren de interés.**

**Comentarios A.31.** La hipótesis atómica o corpuscular de la materia propuesta en el estudio del tema es un marco teórico de indudable valor que nos permite avanzar más fácilmente hacia el conocimiento, ya que favorece el planteamiento de problemas de mayor complejidad a los que todavía no hemos dado respuesta. Así, por ejemplo, ya tenemos una idea para abordar la explicación general de cómo están constituidas las sustancias y cómo ocurren los cambios físicos, pero quedan por explicar cambios más radicales, como los químicos, en los que unas sustancias se transforman en otras diferentes. Al propio tiempo, podemos preguntarnos si estas partículas que conforman las sustancias tendrán o no estructura interna, es decir, cómo estarán formadas para poder llegar a explicar las propiedades características de cada una de las más de dos millones de sustancias conocidas.

Otra pregunta a contestar por el modelo atómico de la materia que hemos iniciado aquí se refiere a buscar las causas de las interacciones, tanto entre las partículas cuando forman los estados condensados de la materia como las existentes entre los supuestos componentes que unidos conforman las propias partículas y donde convergerán los problemas originados en dominios de estudio próximos, como el del calor, o más remotos, como el de la electricidad, que se generaron históricamente mucho más tarde.

Una pregunta que suelen plantear aquellos alumnos que no han estudiado adecuadamente las leyes del movimiento es la de “¿qué es lo que mantiene las partículas en movimiento (siendo así que los objetos se paran a menos que les empujemos)?”. Insistimos en la conveniencia de resaltar estos problemas, que remiten a otros campos de la ciencia, y también en la necesidad de hacer hincapié en la importancia e implicaciones de estos estudios en nuestras vidas.

Podemos referirnos, por último, a la profundización en el estudio de la presión atmosférica, que quedó planteado en el apartado 1.2 y al que dedicaremos, dado su interés, un amplio anexo.

# ANEXO

## EL “MAR DE AIRE” Y LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA<sup>1</sup>

Un problema histórico que generó debates apasionantes fue el planteado en la primera mitad del siglo XVII sobre si el aire atmosférico ejercía o no presión sobre los objetos y las personas que habitamos en la superficie terrestre, al igual que una persona presiona sobre la nieve. Pero uno puede preguntarse: ¿es o no interesante en la actualidad este estudio?

### A.1\*. ¿Para qué puede servir conocer la física de la atmósfera?

**Comentarios A.1\*.** Una reflexión colectiva sobre la utilidad de estos conocimientos puede poner de relieve que la simple interpretación de los informativos sobre el tiempo que se ven u oyen diariamente en los medios de comunicación (periódicos, radio, TV, etc.) requiere una iniciación a las causas del movimiento de las grandes masas de aire atmosférico. La meteorología como parte de la física actual que tiene por objeto, entre otras, la predicción del tiempo atmosférico, está basada en el conocimiento del comportamiento de los gases que estamos estudiando. Por otra parte, deportes como el montañismo, el atletismo, el submarinismo o la espeleología, por citar algunos, también requieren conocimientos de esta temática sin los cuales estos deportistas pueden poner en peligro innecesariamente su salud e incluso su vida.

**A.2\*.** Al interpretar dos experiencias realizadas en la A.8 del tema de los gases [(a) El agua del interior de una botella invertida sobre una cuba que tiene agua no cae; (b) Al apretar la ventosa sobre un baldosín queda pegada], a menudo se dan las siguientes explicaciones:

- a) el agua no cae porque se crearía el vacío dentro de la botella;
- b) al apretar la ventosa sale el aire y el vacío formado es el que hace que se quede pegada al baldosín.

Comenten si están de acuerdo o no con las razones apuntadas y propongan, en su caso, alguna hipótesis alternativa.

<sup>1</sup> Las actividades de este anexo se distinguen, mediante un asterisco(\*), de las incluidas en el desarrollo de la unidad didáctica.

**A.3\*.** En 1638, Galileo había hecho notar que las bombas aspirantes de extracción de agua (véase figura 1\*) no podían elevarla más allá de cierta altura (alrededor de 10,4 m). Y en 1644, Torricelli, uno de los discípulos de Galileo, concibió la idea de llenar un tubo de mercurio (unas 13 veces más denso que el agua) de un metro de altura y sumergirlo boca abajo en una cubeta llena también de mercurio. El líquido descendía hasta una altura de 76 cm (una treceava parte de la alcanzada por el agua en las bombas). ¿Cómo pueden entenderse estos hechos de acuerdo con la hipótesis de horror al vacío? ¿Qué otra explicación puede darse a los mismos?

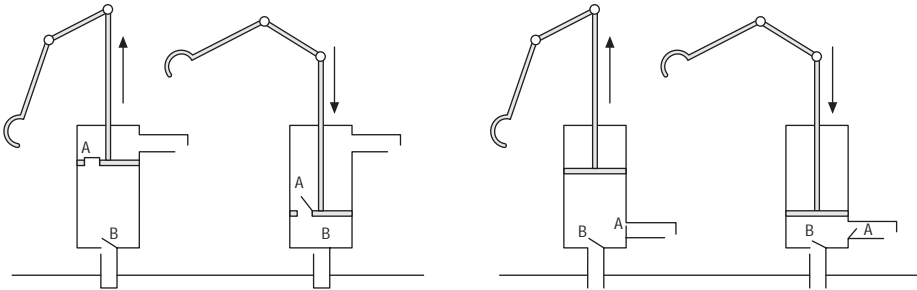


Figura 1\*. Bombas aspirante-impelentes para extraer agua.

**Comentarios A.2\* y A.3\*.** En la actividad 2\* se han propuesto algunas experiencias observadas cotidianamente y respuestas dadas por el propio alumnado donde se manejan razonamientos ambiguos en torno a la hipótesis de horror al vacío. Así, por ejemplo, mientras la explicación dada en **a)** tiene como fundamento explícito la hipótesis citada, la **b)** admite la existencia del vacío precisamente para atribuirle la acción de mantener unidas las superficies, pensamiento muy común también extendido en personas adultas. En la actividad 3\* se hace uso de la historia para explicitar más claramente la hipótesis antagónica a la del horror al vacío. La nueva hipótesis supuso que vivimos en el fondo de un “mar de aire” y que este aire pesa, lo que implicó aceptar la existencia de una presión atmosférica muy elevada en la que habrá que incidir ahora.

Los trabajos de Galileo, Torricelli y otros llevaron a físicos como Pascal y Descartes a romper con la idea de horror al vacío y a buscar la explicación en “el peso de la masa del aire” en que nos encontramos sumergidos.

**A.4\*.** ¿Cómo podría mostrarse experimentalmente que la altura de la columna de mercurio es debida a la presión del aire existente por encima de la cubeta y no al “horror al vacío”?

**Comentarios A.4\*.** Cabe esperar que los alumnos sugieran subir a lo alto de un monte donde, al haber menos aire encima de la cubeta, la altura de la columna de mercurio debería descender. Vale la pena recordar que éste fue el experimento concebido por Pascal y realizado con éxito por su yerno. Ello permitió escribir a Pascal:

“¿Acaso la naturaleza aborrece más al vacío sobre los montes que en los valles, cuando hay humedad o cuando hace buen tiempo? ¿No lo odia igualmente en un campanario que en un granero o en un corral?”



Que todos los discípulos de Aristóteles reúnan lo más potente de sus maestros y sus comentadores, para explicar estas cosas por el horror al vacío, si es que pueden. Si no, reconozcan que las experiencias son los maestros de la física...”.

**A.5\*.** ¿Cómo se podría diseñar un experimento para averiguar lo que vale la presión atmosférica en la superficie terrestre?

**Comentarios A.5\*.** Para la determinación del valor de la presión atmosférica son posibles distintos diseños. Uno de ellos puede ser el realizado por Torricelli viendo el peso de la columna de mercurio; otro más sencillo, para llevarlo a cabo en un laboratorio escolar, consiste en utilizar una ventosa y un dinamómetro que mida la fuerza necesaria para separarla una vez se ha extraído el aire y quedar pegada a una superficie lisa. También puede utilizarse un bombín invertido al que se le cuelgan pesas calibradas (UNESCO, 1975). En cualquier caso, convendrá resaltar el elevado valor a que estamos sometidos en el fondo del mar de aire. Este gran valor se puede poner aún más de manifiesto con el famoso experimento de Magdeburgo.

**A.6\*.** En 1650 se había inventado la bomba de aire, por el alemán Otto von Guericke, que servía para hacer el vacío. Con este aparato realizó el famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo, según el cual varios caballos tirando con toda su fuerza no podían separar dos semiesferas puestas en contacto y de las que se extraía el aire (figura 2\*). Sugieran una forma sencilla de reproducirlo.



Figura 2\*. ¿Por qué los caballos no pudieron separar las semiesferas?

**A.7\*.** ¿De qué piensan que dependerá el valor de la presión atmosférica? Propongan experiencias que permitan comprobar sus suposiciones.

**A.8\*.** Hagan un gráfico que muestre cualitativamente cómo cabe esperar que varíe la presión atmosférica a medida que se asciende desde la superficie terrestre.

**A.9\*.** ¿Por qué los aviones, cuando vuelan a alturas elevadas (10.000 m), hay que mantenerlos herméticamente cerrados a la presión normal?

**Comentarios A.6\* a A.9\*.** Para “reproducir” un experimento como el de los hemisferios de Magdeburgo (A.6\*), los estudiantes sugieren poner en contacto dos ventosas y extraer el aire presionando (ello se facilita manteniendo levantada una de las lengüetas mientras se presiona). La experiencia es fácil de realizar y les resulta muy sorprendente. En relación a la A.7\*, los alumnos fácilmente llegan a la conclusión de que la presión atmosférica irá disminuyendo con la altura, pues cuanto más alto se suba en el “mar de aire” menor será el peso de aire que queda por encima. Más

difícil es que imaginen que la disminución de la presión con la altura no es lineal, y por ello en A.8\* el profesor tendrá que reformular las respuestas para hacer ver que esta disminución de presión será mucho más drástica (exponencial). Esta discusión se puede relacionar fácilmente con el contenido de A.9\*, donde resultará familiar a los estudiantes el porqué hay que mantener “presurizados” los aviones que vuelan a gran altura.

Mostrada la existencia del mar de aire y la gran presión que ejerce sobre los cuerpos sumergidos en él, interesa ahora detenernos brevemente en la medida de dicha presión, es decir, de la presión atmosférica. Los barómetros concebidos por Torricelli, basados en la lectura de la altura de una columna de mercurio, presentan serios inconvenientes (los vapores de mercurio son venenosos) y han sido sustituidos por los barómetros metálicos o aneroides (es decir, “sin aire”).

**A.10\*.** En la figura 3\* se ha esquematizado un barómetro anerode que consiste en una caja cilíndrica metálica donde se ha hecho el vacío y en cuyo interior hay un muelle (R). Expliquen el funcionamiento de este instrumento.

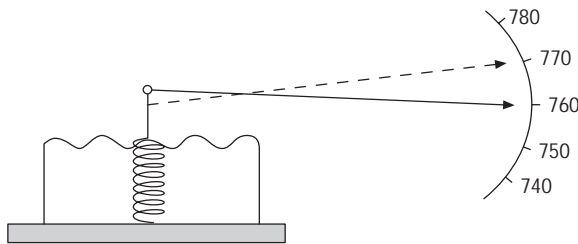


Figura 3\*. Esquema de un barómetro metálico o anerode.

**A.11\*.** Busquen un mapa del tiempo de su región e intérpretenlo explicando, en particular, qué relación existe entre los valores de la presión en las líneas isobaras y las zonas de anticiclón y borrasca.

**Comentarios A.10\* y A.11\*.** El objetivo perseguido con estas actividades consiste en familiarizar al alumnado con la medida de presiones de gases al tiempo que se busca una primera aproximación a nociones elementales de la meteorología como zona de interés próxima a los futuros ciudadanos (en particular, a los conceptos de isobara, anticiclón, borrasca, etc., sin los cuales es difícil llegar a entender la previsión del tiempo). No obstante, el estudio del movimiento de las grandes masas de fluido requiere tener en cuenta, además, los movimientos de rotación y traslación terrestres, con lo que se desviaría el hilo conductor del tema, si bien puede quedar como nuevo problema en el que convendría profundizar más adelante.

Ahora se pueden aplicar los conocimientos adquiridos acerca de la presión atmosférica a diversas situaciones problemáticas, como las siguientes:

**A.12\*.** Justifiquen que en la Luna no exista atmósfera.

**Comentarios A.12\*.** La atracción gravitatoria que la enorme masa de la Tierra ejerce sobre las moléculas de oxígeno, nitrógeno, CO<sub>2</sub>, etc., explica que la atmósfera sea

atrapada por el campo terrestre, mientras no ocurre lo mismo en las proximidades de la superficie de la Luna. Se puede explicar también por qué las moléculas de hidrógeno, mucho más ligeras, no son retenidas por la Tierra.

**A.13\***. Frecuentemente, cuando en invierno se aclaran copas con agua caliente y se dejan invertidas encima del banco de la cocina mojado, se observa que quedan pegadas. ¿Cómo se puede explicar este fenómeno?

**A.14\***. Una lata metálica de aceite de coche, que está abierta y contiene un poco de agua, se calienta fuertemente y, cuando se observa que sale vapor, se cierra herméticamente con su tapón. A los pocos minutos (y antes si se la rocía con agua fría) se observa cómo se aplasta la lata. Lo mismo puede conseguirse más fácilmente enjuagando una botella de plástico con agua caliente y cerrándola herméticamente. ¿Por qué ocurre este hecho?

**Comentarios A.13\* y A.14\***. En el primer caso se puede observar si los estudiantes utilizan argumentos correctos. Es muy posible que de nuevo aparezcan razones como “al enfriarse el aire encerrado en la copa se crea el vacío y éste adhiere la copa al banco”, que muestran que aún no son conscientes de que la acción es ejercida realmente porque la presión atmosférica es superior a la existente en el interior de la copa, cuyo aire caliente se ha enfriado. Convendría llegar a explicaciones submicroscópicas donde se hace intervenir a las partículas del aire encerrado y del externo. Análogamente se puede hacer en las explicaciones de A.14\*, ya que se ha comprobado que aparecen incluso en estudiantes de Magisterio ideas animistas acerca de “la tendencia que tiene la lata para recuperar el aire que había perdido en el calentamiento”.

**A.15\***. Realicen una breve síntesis del estudio realizado acerca de la presión atmosférica.

**Comentarios A.15\***. Se trata de que el alumnado elabore un informe en el que se haga una recapitulación de los principales conocimientos y habilidades adquiridos en este anexo y se consideren nuevas perspectivas para seguir profundizando en el estudio de la presión atmosférica.

## NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir del siguiente trabajo:

FURIÓ, C., GAVIDIA, V., GIL-PÉREZ, D. y RODES, M. J. (1995). *Materiales Didácticos. Ciencias de la Naturaleza. Primer Ciclo Secundaria Obligatoria*. Madrid: MEC.

## Referencias bibliográficas en este capítulo.

BENARROCH, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 123-134.

FURIÓ, C. y HERNÁNDEZ, J. (1983). Ideas sobre los gases en alumnos a los 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 83-91.

FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H. (1987). Parallels between adolescents conception of gases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (7), 617-618.

HERNÁNDEZ, J. y FURIÓ, C. (1987). Instabilité des conceptions alternatives des élèves du primaire et du secondaire sur les gaz. *Actas de las IX Journées Internationales sur l'Education Scientifique*. Chamonix.

HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science & science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

HOLTON, G. y ROLLER, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. Barcelona: Reverté.

LLORENS, J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48.

MARTÍNEZ TORREGROSA, J., ALONSO, M., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., DOMÉNECH, J. L., DOMÍNGUEZ, A., OSUNA, L. y VERDÚ, R. (1997). *La estructura de todas las cosas. Segundo curso de ESO*. Alicante: Ed. Aguaclara.

NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1981). Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science Education*, 65(2), 187-196.

OLIVA, J. M., ARAGÓN, M. M., BONAT, M. y MATEO, J. (2003). Un estudio del papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 424-444.

SERÉ, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science*, 8(4), 413-425.

UNESCO (1975). *Nuevo Manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.