

## Con el aire auestas

### *Talking about the air*

*Alejandro del Mazo Vivar*

**RESUMEN:** *Algunos estudiantes de enseñanza secundaria atribuyen propiedades espirituales al aire. Afortunadamente, la mayoría de ellos lo identifican acertadamente con una sustancia material. No obstante, a la hora de interpretar algunos fenómenos cotidianos en los que la atmósfera está involucrada, ignoran esa naturaleza material y hacen uso de extrañas explicaciones.*

*Mediante algunos experimentos sencillos no es difícil conducir el razonamiento hacia las verdaderas causas de esos fenómenos.*

**Palabras clave:** *Atmósfera, materia, vacío, masa, peso, presión.*

**ABSTRACT:** *Some students of secondary education attribute spiritual properties to the air. Fortunately, most of them correctly identify it with a material substance. However, they usually ignore that material nature when they must interpret certain daily phenomena in which the atmosphere is involved and give odd explanations for them. It isn't difficult to lead the reasoning towards the right causes of those phenomena through some easy experiments.*

**Key words:** *Atmosphere, matter, vacuum, mass, weight, pressure.*

Tendrán que disculparme por no proponer sesudas metodologías de enseñanza. Debo confesar mi gran ignorancia en este terreno. Cuando en alguna ocasión he intentado aproximarme a alguna de ellas para cultivarme he acabado decidiendo que prefiero equivocarme yo solo, guiado por mi intuición, a dejarme seducir por los devaneos pseudopedagógicos de algún iluminado que no recuerda cuál fue la última vez que pisó un aula.

Conozco innumerables técnicas de trabajo con los alumnos que garantizan pésimos resultados y continuamente descubro formas nuevas, aunque también me encuentro, por casualidad, con alguna menos mala. Ya dentro de esta categoría, he observado que no está

mal ayudarse en el aula con buen número de experiencias sencillas. De otro modo es probable que la única relación de los alumnos con la realidad física se produzca sólo a través de la pizarra. Esta forma de tomar contacto con los fenómenos físicos es, en la mayoría de los casos, el mejor camino para eliminar falsas concepciones que se sostienen casi siempre en curiosos argumentos de supuesta “lógica”, a falta de evidencias experimentales con las que sería fácil desbaratarlas. Trabajando de esta manera puede aprovecharse gran número de pequeños experimentos e integrarlos en la marcha ordinaria de la clase, sin cortar su ritmo ni generar retrasos.

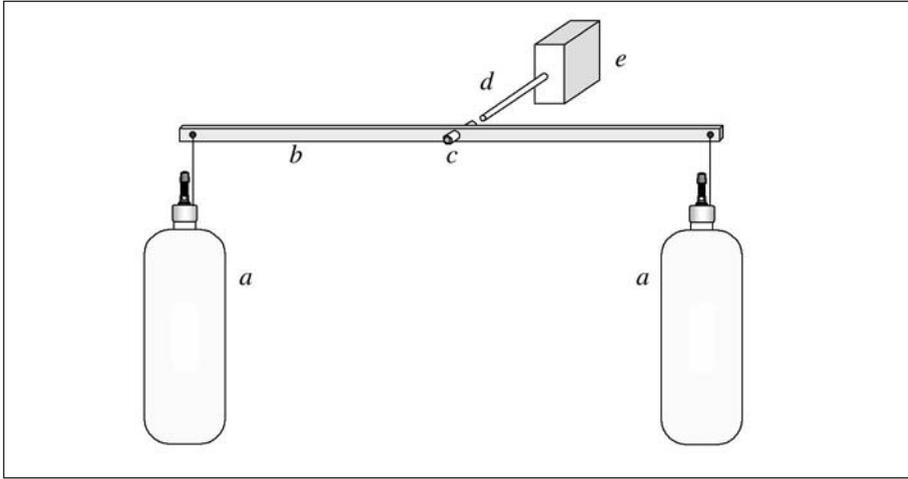
Todo lo que tiene que ver con la atmósfera, el aire y, en general, los gases, suscita pintorescas concepciones, tanto entre los “clientes” del sistema educativo como entre la población ordinaria. A pesar de que desde la Enseñanza Primaria los niños han aprendido que la materia puede presentarse en estado sólido, líquido y gaseoso, existen abundantes ideas erróneas respecto a las propiedades y al comportamiento de los gases que entran en abierta contradicción con esa naturaleza material que predicán. Examinaremos algunas de ellas y propondremos algunos recursos experimentales para intentar desarraigarlas.

## **EL AIRE: ¿ MATERIA O ESPÍRITU?**

El aire no pesa, porque si pesase lo notaríamos. Esta afirmación tan rotunda la realizan frecuentemente alumnos que al mismo tiempo recitan sin dudar que la materia puede encontrarse en estado sólido, líquido y gaseoso; aunque en el fondo no acaban de admitir que un gas —como el aire— sea material. Algunos niegan incluso que los líquidos sean materiales, porque asocian “materia” con “sólido”. En alguna ocasión he preguntado a los alumnos si consideran los gases más próximos a los entes materiales o a los espirituales y algunos no dudan de que tienen más que ver con los últimos. En realidad este punto de vista no fue tan raro con anterioridad a las investigaciones de Robert Boyle sobre los gases.

Aunque existen formas sencillas de probar que el aire tiene masa, daré a conocer una que se me ocurrió ante la necesidad de dar respuesta a esos alumnos recalcitrantes que se niegan a admitir como

## Con el aire auestas



*Figura 1*

prueba cualquier tipo de razonamiento, ya que para ellos la ciencia forma parte de un complot para falsear la evidencia.

La idea consiste en construir una sencilla balanza como la que se muestra en la *Fig 1*. Dos botellas iguales de refresco, de 1,5 ó 2 litros, en cuyos tapones se han colocado sendas válvulas de bicicleta, como más adelante se detallará, cuelgan mediante dos cordones de los extremos de un listón de madera, *b*, de aproximadamente 50 cm de largo. En la parte central del listón se puede adaptar un pequeño tubo metálico o de plástico, *c*, de 3 ó 4 mm de diámetro interior por el que pasa holgadamente un clavo, *d*, que actúa de eje de la



*Figura 2*

balanza y que, por comodidad, puede fijarse en un pequeño bloque de madera, *e*.

Con el fin de instalar las válvulas de bicicleta en cada uno de los tapones se hace previamente un taladro bien centrado y a continuación se siguen los pasos que se muestran en la *Fig 2*.

Cuando las dos botellas contienen aire en las mismas condiciones, al liberar la balanza, ésta queda en equilibrio (*Fig 3*). Si mediante una sencilla bomba manual se introduce aire a presión en una de las botellas (*Fig 4*), y se suspende la balanza, ésta se desnivela de forma evidente (*Fig 5*). Puesto que lo único que hemos introducido en la botella es aire, el experimento prueba que el aire tiene masa y que es atraído por la Tierra y por lo tanto tiene peso.



*Figura 3*

*Figura 4*

*Figura 5*

## **PRESIÓN NO ES PESO**

Se define la presión como la fuerza que actúa sobre la unidad de superficie. Puede darse expresión matemática a esta definición de la siguiente forma:

$$p = \frac{F}{S}$$

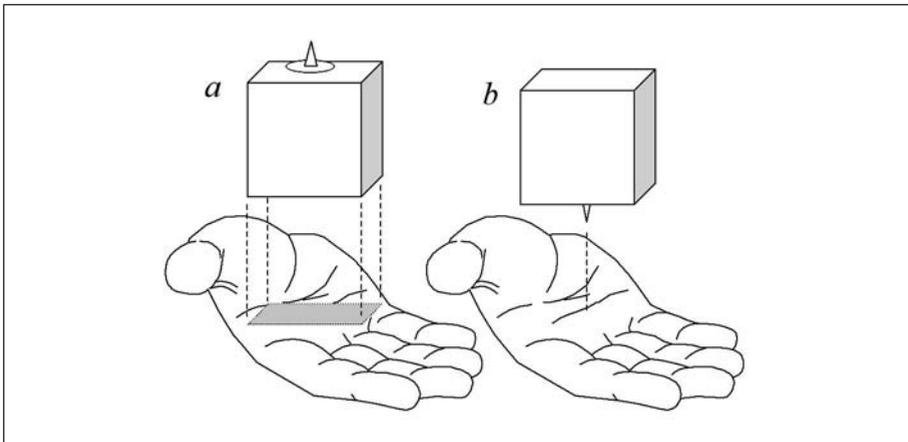
En la que *F* representa la fuerza (que se mide en newton, N), *S* la superficie (m<sup>2</sup>) y *p* la presión (newton / m<sup>2</sup>, que se llama pascal, Pa).

En muchas ocasiones la fuerza que soporta una superficie es el peso de un objeto material, que puede ser sólido, líquido o gaseoso. En tal caso, la presión puede expresarse así:

$$p = \frac{P}{S}$$

Donde  $P$  representa el peso.

Suele ser objeto de continuo esfuerzo el evitar que los alumnos no confundan la masa de un cuerpo, es decir, la cantidad de materia que tiene, con el peso, que es la fuerza con que lo atrae el astro sobre el que se encuentra, en nuestro caso la Tierra. Si no está clara la diferencia, la idea de presión, que se sustenta frecuentemente en la de peso, resulta ser aún más confusa.



*Figura 6*

Un experimento para aclarar el concepto de presión puede llevarse a cabo con un objeto de masa apreciable y una chincheta. Yo utilizo un bloque cúbico de hierro de 4 cm de arista (*Fig. 6*), pero en caso de no tener otra cosa a mano, podría servir una piedra cualquiera con una masa superior a 0,5 kg y la chincheta.

Con un poco de cinta adhesiva se fija la chincheta al objeto y se deposita éste sobre la mano extendida de una persona, con la chincheta hacia arriba, pidiéndole que lo sostenga, lo que no supondrá para ella ninguna dificultad. Pero si a continuación hacemos lo

mismo con la chincheta hacia abajo, la persona retirará la mano antes de que hayamos podido deshacernos del objeto.

Analizaremos ahora lo sucedido. El objeto tiene la misma masa y en consecuencia el mismo peso tanto si la chincheta apunta hacia arriba como si lo hace hacia abajo. En el primer caso (*Fig 6,a*) el peso del cuerpo se reparte sobre una zona relativamente extensa de la palma de la mano por lo que la presión en esa zona es pequeña. En el segundo caso (*Fig 6,b*) el mismo peso descansa sobre la diminuta superficie de la punta de la chincheta. La presión en ese lugar es elevadísima y si no se retira la mano la chincheta puede perforar la piel. El problema, pues, no tiene que ver con el peso sino con la presión.

Un sencillo cálculo nos mostraría que un bloque cúbico de hierro (cuya densidad aproximada es de  $8000 \text{ kg/m}^3$ ) cuya arista sea de 4 cm tiene una masa de 0,51 kg y un peso de 5,0 N (ignoramos, por insignificante, el peso de la chincheta). Cuando el bloque se apoya sobre una de sus caras, la presión es de 3136 Pa. Cuando se apoya sobre la chincheta necesitaremos conocer el valor de la superficie de la punta. Midiendo con un calibre el diámetro de la chincheta tan cerca del extremo como sea posible se obtiene un valor cercano a 0,2 mm. Esto significa que la superficie de la punta será inferior a  $3,14 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$  y la presión aproximada de  $1,6 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ ; o sea, 160 millones de pascals. La diferencia entre poner la chincheta hacia arriba o hacia abajo es importante.

Si el bloque de hierro, que tiene masa y peso (por hallarse en la Tierra) hace presión, podemos suponer que el aire —que, como hemos probado tiene masa y por tanto peso— ejercerá también presión. La envoltura gaseosa que envuelve la Tierra, que llamamos atmósfera, se extiende hasta una altura de muchos kilómetros. Aunque la atmósfera se vuelve más tenue con la altitud es de suponer que bastantes kilómetros de aire tengan un peso importante y ocasionen una presión nada desdeñable. Aunque los alumnos hayan oído hablar de la presión atmosférica serán muy pocos los que utilicen este concepto para explicar algunos fenómenos cotidianos.

## EL VACÍO NUNCA ES CULPABLE DE NADA

¿Por qué podemos beber un refresco a través de una pajita?

La inmensa mayoría de los alumnos creen tener la explicación: cuando se aspira se hace un vacío en el interior de la pajita y el vacío hace subir el refresco.

Podemos ahora preguntarle que entienden por vacío. Casi todos comprenden que vacío es ausencia. Que haya vacío en el interior de un cuerpo significa que hay ausencia de materia. La pregunta que surge inmediatamente es: ¿Es posible que lo que no existe sea la causa de algo? Parece evidente que no. Entonces el hecho de beber con una pajita necesitará otra explicación.

Analicemos el fenómeno paso a paso. Si en un vaso con líquido introducimos una pajita o un tubo transparente y algo ancho, observaremos que el líquido alcanza el mismo nivel

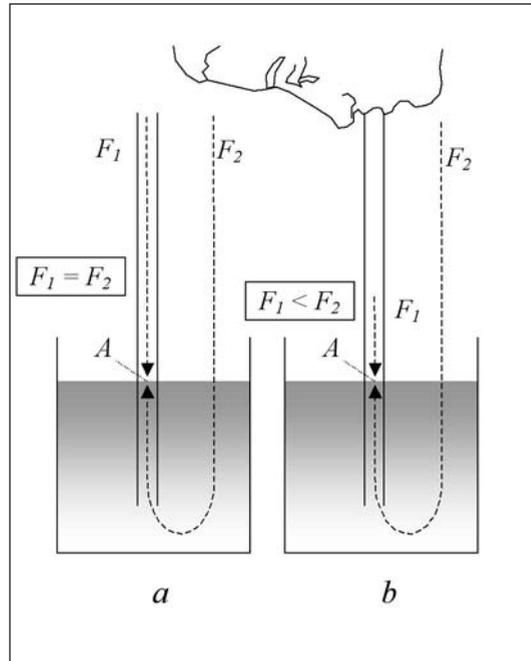


Figura 7

en el vaso y en el interior del tubo (Fig 7,a). Este fenómeno se explica si se tiene en cuenta que el tubo está abierto a la atmósfera y el vaso también. En consecuencia, la fuerza  $F_1$  que ejerce el aire a través del tubo, sobre la superficie  $A$  es la misma que la fuerza  $F_2$  que se transmite a través del líquido del vaso. En consecuencia, el punto  $A$  estará al mismo nivel que el agua del vaso. Cuando se aspira a través del tubo (Fig 7,b) se hace un vacío parcial en el interior de éste. La presión del aire en el interior del tubo disminuye y eso provoca que la fuerza  $F_1$  disminuya, mientras que la fuerza  $F_2$  permanece

inalterada. Como  $F_2$  es mayor que  $F_1$  el líquido asciende. En consecuencia, es la presión atmosférica la que empuja el líquido hacia arriba por el interior del tubo.

A pesar de todo puede que alguien no quede convencido y siga invocando el vacío como responsable. En este caso puede realizarse el siguiente experimento.

Se toma un matraz, se llena de agua hasta el borde y en ese momento se cierra con un tapón de caucho horadado y atravesado por un tubo de vidrio (Fig 8). Si se aspira por el extremo libre del tubo el agua no asciende. ¿Acaso no estamos haciendo vacío? Si a pesar del vacío el agua no sube es que el vacío no es el responsable. Lo que realmente sucede es que el agua no tiene contacto con la atmósfera por lo que la presión de ésta no puede empujar el líquido por el tubo.

Si a continuación ponemos el matraz boca abajo podremos observar el agua no se derrama (Fig 9). Analicemos el fenómeno. El líquido tiene masa, por lo que es atraído por la Tierra. Tratándose de un fluido debería caer por el tubo; pero no lo hace ¿Cuál es la causa? Sobre la pequeña superficie de agua que asoma por el tubo actúan dos fuerzas, la fuerza  $F_2$  que ejerce la presión de la atmósfera y la fuerza  $F_1$  debida a la presión que produce el agua. Si el agua no cae es porque  $F_1 < F_2$ .

Podría pensarse que una manera para conseguir que  $F_2$  supere a  $F_1$  sería introducir una mayor masa de agua en el recipiente. Una posibilidad es tomar una botella de refresco de 1,5 ó 2 litros y adaptarle

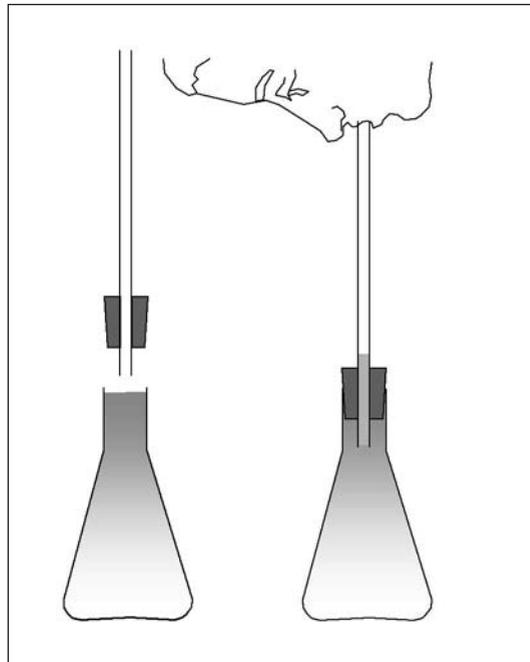
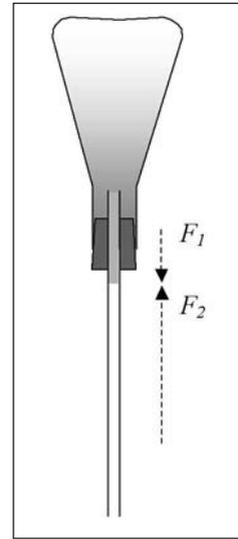


Figura 8

un tapón horadado con un tubo y efectuar la misma maniobra que con el matraz. Sin embargo el experimento puede hacerse de forma más sencilla (*Fig 10*). Se llena la botella con agua hasta el borde, se tapa con un dedo y se le da la vuelta, introduciendo la boca dentro de un cubo con agua. Al retirar el dedo se observa que la botella no se vacía. Si se comprendió el experimento de la pajita no será difícil entender porqué el agua no cae. Sin embargo hay una diferencia entre estos dos experimentos. El peso del agua de la botella es muy superior al peso del agua en el interior de la pajita. La explicación hay que buscarla en el hecho de que la presión no depende de la cantidad de líquido sino de su nivel, de su densidad y de la gravedad. La expresión física que engloba todas estas magnitudes es la siguiente:



*Figura 9*

$$\text{Presión} = \text{densidad} \cdot \text{gravedad} \cdot \text{altura}$$

Que, en forma simbólica, se escribe de esta manera:

$$p = d \cdot g \cdot h$$

Sabiendo que la presión atmosférica normal (a nivel del mar y en condiciones meteorológicas medias) vale 101293 pascales se nos puede plantear la siguiente pregunta: ¿qué altura de líquido será capaz de equilibrar la presión de la atmósfera?

Utilizando la ecuación que acabamos de escribir se deduce que la altura vendrá dada por:

$$h = \frac{p}{d \cdot g}$$

Tratándose de mercurio, cuya densidad es 13600 kg/m<sup>3</sup>, la altura sería:

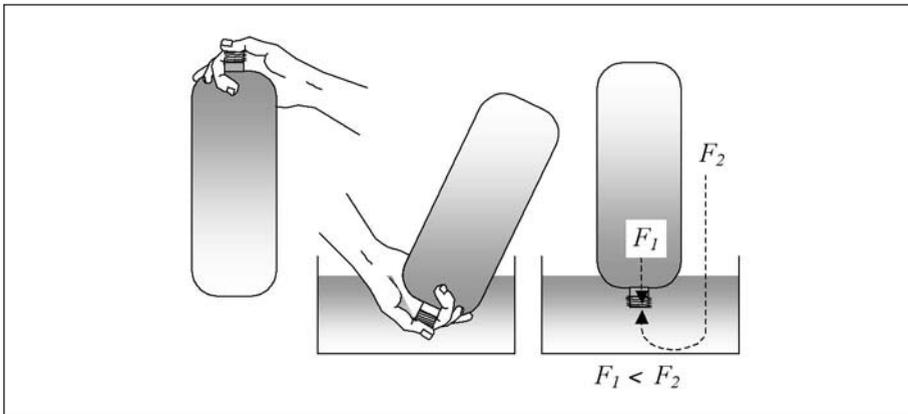
Alejandro del Mazo Vivar

$$h = \frac{101293}{13600 \cdot 9,8} = 0,76 \text{ m}$$

Con agua, cuya densidad es de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , la altura sería:

$$h = \frac{101293}{1000 \cdot 9,8}$$

La operación conduce a una altura de ¡10,3 metros! Esto significa que la presión atmosférica será capaz de “hacer frente” a la presión originada por una botella invertida, llena de agua hasta la altura aproximada de un edificio de dos pisos (*Fig 11*).



*Figura 10*

## **EXTRAÑA MANERA DE INFLAR UN GLOBO**

La forma habitual de inflar un globo ordinario consiste en introducir aire en él; aunque no es la única. Por el hecho de estar fabricado con un material elástico, al introducir aire aumenta la presión interior y la fuerza que desarrolla incrementa el volumen del globo.

En cualquiera de los estados en que se alcanza el equilibrio a lo largo del proceso del inflado se cumple que la fuerza  $F_1$  que hace el aire interior sobre la pared del globo es igual a la fuerza  $F_2$  que ejerce la atmósfera (Fig 12).

Llenemos ahora parcialmente otro globo con aire y cerrémoslo. En la pared del mismo se equilibran la fuerza del aire interior con la que produce la atmósfera (Fig 13,a). Si en este momento la presión de la atmósfera disminuye desde su valor inicial hasta un nuevo valor  $F'_2$  (Fig 13,b) la fuerza debida a la presión interior expande el globo hasta un

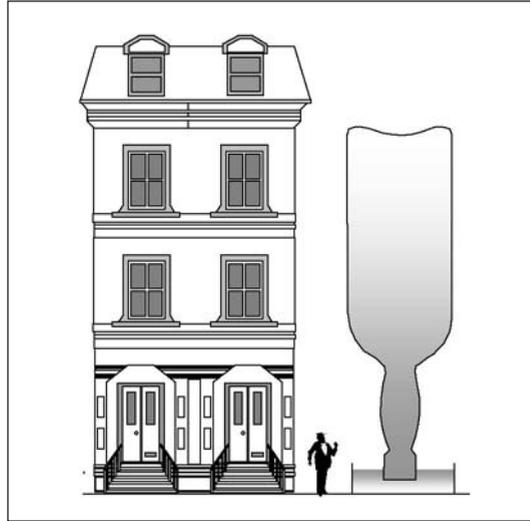


Figura 11

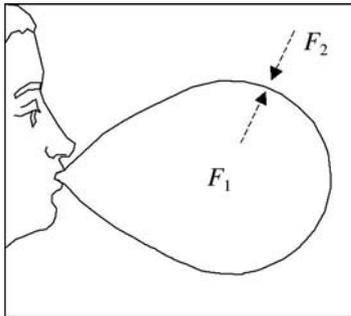


Figura 12

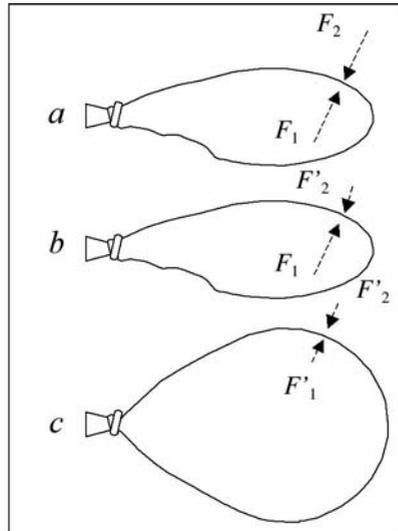


Figura 13

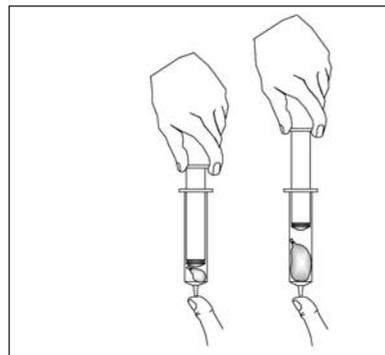
nuevo equilibrio en el que la fuerza interior  $F'_1$  se iguala con la exterior (*Fig 13 c*).

Este experimento puede llevarse a cabo de varias formas. Una de ellas usando un “Tupperware” de vacío, que va acompañado de una pequeña bomba aspirante que se aplica en la tapa. Si en el interior se deja un globo apenas hinchado (*Fig 14, a*), al extraer el aire del recipiente, y por tanto disminuir la presión del aire que rodea al globo, éste se hincha hasta ocupar todo el volumen del recipiente (*Fig 14, b*).

Se puede observar el mismo fenómeno utilizando una jeringuilla de 60 ml, con un pequeño globo muy poco hinchado en su interior. Si se cierra el extremo con el dedo o con una goma al tiempo que se desplaza el émbolo hacia fuera el globo se hincha (*Fig 15*).



*Figura 14*



*Figura 15*