

**30 usos científicos para una  
(...bueno, varias)  
botella(s) de gaseosa**

Rafael Garcia Molina ([rgm@um.es](mailto:rgm@um.es))

*Departamento de Física, Universidad de Murcia,  
Apartado 4021, 30080 Murcia*



## 30 scientific uses for one (...well, several) soda bottle(s)

Rafael Garcia Molina (rgm@um.es)

*Departamento de Física, Universidad de Murcia, Apartado 4021, 30080 Murcia*

I discuss the usefulness of a soda bottle for scientific purposes, illustrating this with 30 activities. This work has been done and distributed when I teach courses for elementary and secondary school teachers in order to show them that a lot of physics can be learn and explained using simple and inexpensive materials, such as soda bottles in this case.

### Introducción

En los cursos y seminarios que suelo impartir para profesores de enseñanza primaria y secundaria<sup>1</sup> es bastante habitual que algunos de los participantes comenten el elevado precio o la complejidad de los dispositivos experimentales necesarios para realizar experiencias de física (y también de otras disciplinas científicas).

Además de intentar combinar aspectos formativos y lúdicos de la física, durante el desarrollo de estos cursos también pongo especial énfasis en el hecho de que se pueden realizar multitud de experiencias científicas empleando elementos cotidianos.

Si el primer punto es importante porque ayuda a captar el interés de aquellas personas que “desconectan” directamente de la física porque no ven nada atractivo en ella, el segundo punto sirve para poner de manifiesto la presencia de la física en todo cuanto nos rodea, incluso en lo más cotidiano.

Entre las primeras actividades que incorporé al repertorio de experimentos con objetos cotidianos se encuentra el buzo cartesiano (también denominado “ludión” o “diablillo de Descartes”, el cual se encuentra descrito más adelante), que puede realizarse con una botella de gaseosa en el aula (empleándolo para formular cuestiones relacionadas con su funcionamiento), así como en veladas familiares (que es donde yo llevo mostrándolo durante varios años, y, aunque ya hay varias personas que lo conocen, siempre se incorporan nuevos comensales que no dejan de asombrarse y luego lo reproducen en sus respectivos entornos familiares o de amistades).

Tras este primer uso científico de la botella de gaseosa (pues en realidad se está realizando una experiencia de física), a lo largo del tiempo he ido recopilando bastantes

---

<sup>1</sup> Con títulos tales como *Entreteniciencia* (<http://stepv.intersindical.org/allioli/156/156-1011eestiu.pdf> , <http://www.fmrppv.org/eets/memoxvi.htm>), *Juegos de ciencia* (<http://www.fmrppv.org/eets/MEMXXVII.htm> , <http://www.fmrppv.org/eets/mxxviii.htm>), *Jugando con la física* o *Física recreativa*, por ejemplo.

actividades científicas que tienen como protagonista principal la botella de gaseosa. La procedencia de estas actividades es muy diversa, pues algunas me las han comunicado otras personas (familiares, amigos, compañeros...), otras proceden de lecturas y también hay algunas que he creído desarrollarlas sin tener conocimiento previo de ellas (aunque eso no excluye que puedan aparecer documentadas en alguna referencia que yo desconozca).

Así pues, entre el material didáctico que reparto a las personas asistentes a mis cursos se encuentra la recopilación de experiencias que presento a continuación. Esta recopilación no pretende ser exhaustiva ni en el contenido ni en el fondo de las descripciones, pues el nivel y los intereses de los posibles usuarios suele ser muy variado. Para ello realizo una breve descripción del procedimiento de uso y del fundamento físico que subyace en cada actividad, acompañándolo de una ilustración gráfica. La explicación que se ofrece en cada caso es la que me ha parecido más sencilla y correcta (destacando los aspectos cualitativos y conceptuales, más que los formales y matemáticos, inherentes al fenómeno físico que se observa), aunque en muchas ocasiones la descripción completa de un fenómeno suele ser más compleja de lo que aparenta y requeriría un análisis bastante más sofisticado del que se ofrece en la recopilación que presento.

De este modo he llegado a recopilar varias experiencias de física que tienen como protagonista principal a la botella de gaseosa. Esta recopilación se incorpora a las colecciones de actividades de física ya existentes cuyo propósito es explicar diversos aspectos de la física empleando principalmente un solo tipo de material [1-6] o recurriendo a ambientes específicos [7-10], pero muy ricos en conceptos físicos.

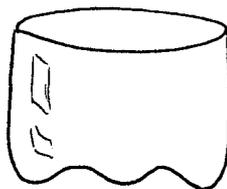
Las personas que no tienen intenciones de profundizar en la física pueden comprender los conceptos en términos de modelos físicos más fácilmente que en términos de modelos matemáticos; por otra parte, las personas que se desenvuelven fácilmente con los aspectos formales de la física complementan su formación disponiendo de fenómenos físicos próximos y asequibles para analizar. De todos modos, la experiencia demuestra que es gratificante a la vez que formativo, tanto para unas personas como para las otras, el poder ser protagonistas de experiencias científicas que ilustran los contenidos de los cursos que se imparten en nuestras aulas.

La mayoría de actividades están propuestas empleando la botella de 1.5 l de gaseosa, de paredes lisas y sin la etiqueta de papel, transparentes y relativamente flexibles. En algunas otras ocasiones también se pueden utilizar otros materiales que pueden conseguirse con relativa facilidad. Las indicaciones que se dan en cada caso pueden variarse a criterio de las personas que realizan la actividad.

También se pueden aprovechar los despieces de la botella. Así, la parte superior se puede usar como embudo, la parte inferior como recipiente y la (mitad de la) parte intermedia puede emplearse como gafas de seguridad.



embudo



recipiente

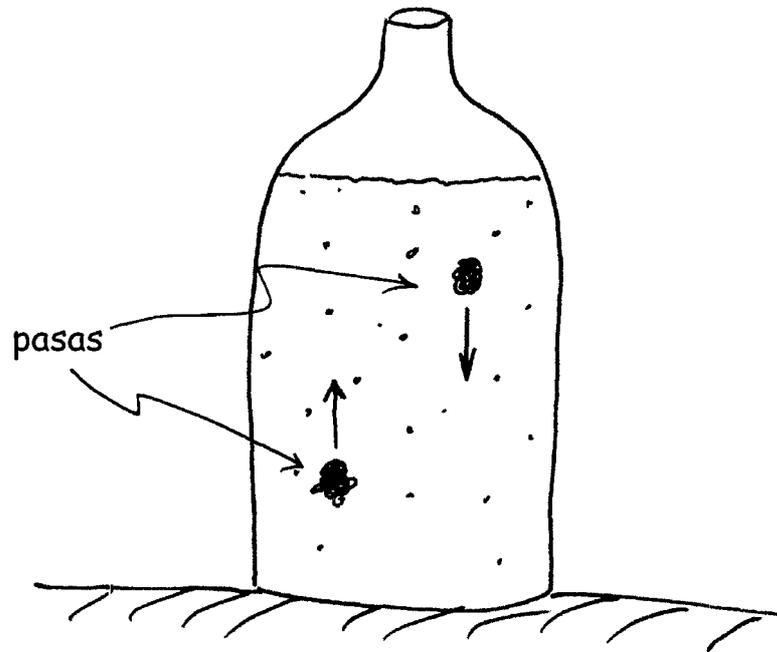
gafas de  
seguridad

**Referencias**

1. C. I. A. Ritchie, *Making Scientific Toys* (Thomas Nelson, Nashville, 1975).
2. B. A. P. Taylor, J. Poth y D. J. Portman, *Teaching Physics with Toys* (Terrific Science Press, Middletown, OH, 1995).
3. R. Ehrlich, Ruler Physics –Thirty-four demonstrations using a plastic ruler, *American Journal of Physics* **62** (1994) 111.
4. S. W. Moje, *Paper Clip Science. Simple and Fun Experiments* (Sterling, New York, 1996).
5. J. Hurtado Pérez, A. Martínez Esquivá, J. A. Cayuelas Grau, J. Torregrosa Díaz, M. A. Cases Boné y A. Tomás Serrano, Dar la lata (o sobre algunos procesos físicos sencillos que pueden llevarse a cabo con una lata de refrescos), *Revista Española de Física* **18** (2004) 47.
6. D. P. Jackson y P. W. Laws, Syringe thermodynamics: The many uses of a glass syringe, *American Journal of Physics* **74** (2006) 94.
7. B. Friedhoffer, *Physics lab in a hardware store* (Franklin Watts, New York, 1996); *Physics Lab in a Housewares Store* (Franklin Watts, New York, 1996); *Physics Lab in a Supermarket* (Franklin Watts, New York, 1998).
8. C. Escobar (ed.), *Amusement Park Physics Handbook* (Amusement Park Physics Handbook Committee, American Association of Physics Teachers, College Park, MD, 1989).
9. N. A. Unterman, *Amusement Park Physics. A Teacher's Guide* (J. Weston Walch, Portland, Maine, 1990).
10. J. A. Martínez Pons y F. I. de Prada Pérez de Azpaitia, *Aprende física en el Parque de Atracciones* (Servicio de Documentación y Publicaciones, Comunidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2001).

### ***1. Pasas que suben y bajan en la gaseosa***

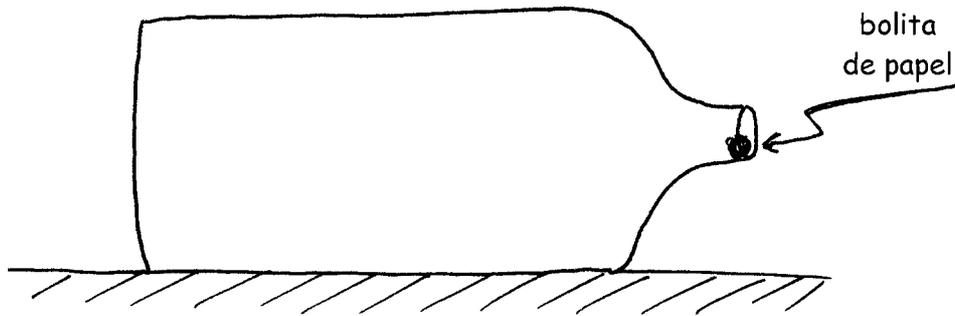
Dentro de una botella con gaseosa se introducen unas pocas pasas (o pequeños trocitos de una onza de chocolate) y se deja la botella abierta. Se observará que las pasas (o el chocolate) ejecutan un movimiento de ascenso y descenso que persiste durante bastante tiempo.



Como las pasas (o el chocolate) son más densos que la gaseosa, se hunden en ésta, pero a medida que descienden se van rodeando de burbujas de gas (que se encontraba disuelto en la gaseosa), de manera que tras descender una cierta profundidad ya tienen suficientes burbujas cuyo empuje ayuda a vencer al peso de la pasa y ésta asciende hasta la superficie del líquido, donde se liberan las burbujas y la pasa vuelve a sumergirse, repitiéndose el ciclo descenso-ascenso nuevamente, hasta que la gaseosa pierda el gas que lleva disuelto.

## 2. Introduce la bola de papel en la botella

Colocamos la botella horizontalmente sobre una mesa y hacemos una pequeña bolita de papel, que colocamos en la parte interior del cuello de la botella. Invitamos a alguna persona a que pruebe a introducir la bolita de papel en el interior de la botella soplando, sin tocar ni la botella ni la bolita. La mayoría de la gente soplará muy fuerte, y lo único que conseguirá será que la bolita salga expulsada de la boca de la botella.



La botella ya está llena de aire y no hay espacio libre para acomodar el aire que se le envía al mismo tiempo que se intenta introducir la bola de papel en la botella. Así pues, si entra algo de aire sorteando la bolita de papel, el aire interior es expulsado, sacando la bolita de papel.

Si se hace un agujero en la parte final de la botella, sí que se podrá introducir la bolita de papel de un soplido, pues al mismo tiempo que entra aire por la boca de la botella, sale por el fondo de la misma. También se puede hacer un pequeño canutillo o emplear una pajilla para introducirlo dentro de la botella y absorber aire, con lo cual la presión disminuirá en el interior de la botella y la presión atmosférica del exterior empujará la bolita hacia dentro.

### 3. *¿Quién se atreve a hinchar un globo dentro de una botella?*

Se ajusta un globo al cuello de una botella, de manera que el globo se introduzca en el interior a la misma; en un lateral de la botella se hace un pequeño orificio disimuladamente. Dejando destapado el orificio lateral procedemos a hinchar (con un poco de esfuerzo) el globo. A continuación se le ofrece la posibilidad de hinchar otro globo (por cuestiones higiénicas conviene cambiar de globo para cada usuario) a un voluntario (o víctima, según se mire), pero astutamente nos ofrecemos a aguantarle la botella tapando el pequeño orificio. Por mucho que lo intente, el globo no cambiará un ápice su forma inicial.

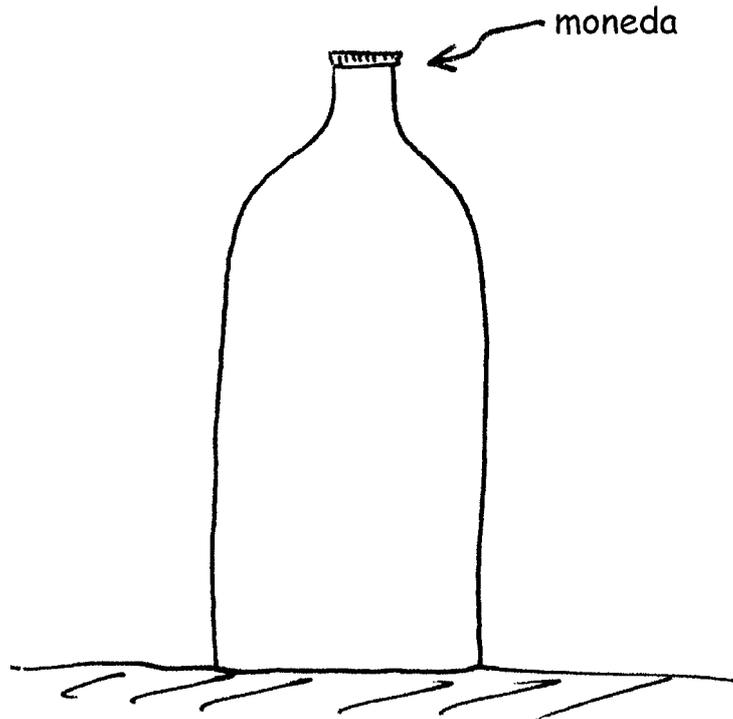


Cuando el globo se hincha aumenta su volumen, y como éste se encuentra en el interior de la botella debería de comprimirse el aire de su interior, para lo cual se necesitaría ejercer una presión que no se consigue al intentar hinchar el globo. De este modo se comprueba que el aire ocupa volumen y cuesta comprimirlo.

Cuando se deja abierto el agujero, se puede hinchar el globo porque el aire del interior de la botella escapa por el agujero.

#### 4. Moneda saltarina

Colocamos una botella vacía y destapada en el congelador aproximadamente durante un cuarto de hora. Mojamos una moneda de 50 céntimos de euro y la ponemos tapando la boca de la botella cuando vayamos a sacarla del frigorífico. Al colocar la botella verticalmente sobre una mesa observaremos que la moneda da unos saltitos durante unos segundos (dependerá principalmente de cuánto tiempo haya estado la botella en el congelador y del peso de la moneda).

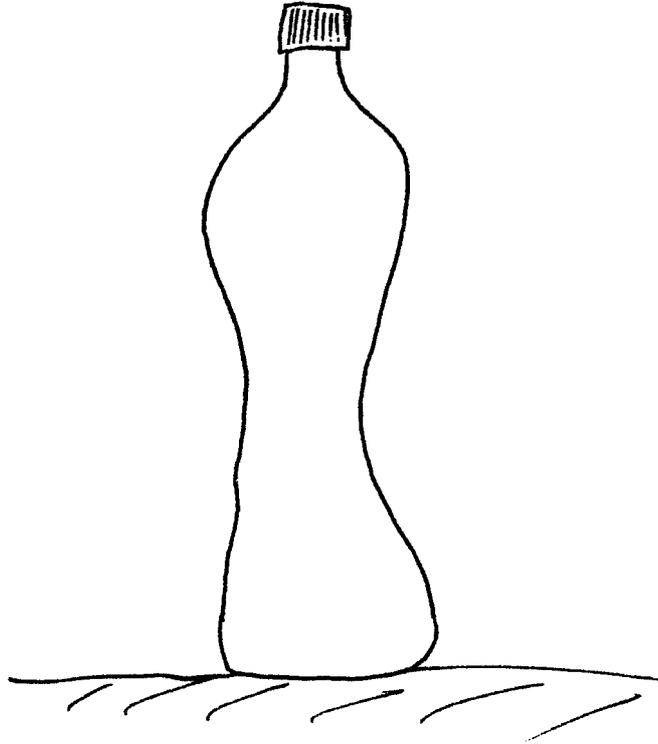


Cuando se introduce la botella en el congelador se llena de aire frío. Al sacar la botella a la temperatura ambiente, el aire del interior se calienta y tiende a ocupar más volumen, por lo que intenta salir de la botella por el lugar que le resulte más fácil. Como la presión debida al aire que actúa por debajo de la moneda es mayor que la presión que ejerce la moneda (debida a su peso) y la presión atmosférica exterior a la botella, el aire de la botella se escapa levantando la moneda, la cual parece dar pequeños saltos.

Hay que mojar la moneda para que el agua que la impregna actúe sellando los posibles intersticios que quedarían entre la superficie de la moneda (que no es completamente plana) y la de la boca de la botella.

**5. Una botella llena de aire se aplasta cuando se introduce en el frigorífico**

Si tapamos una botella y la introducimos en el frigorífico, al sacarla después de transcurrido un cierto tiempo observaremos que la botella se ha aplastado.

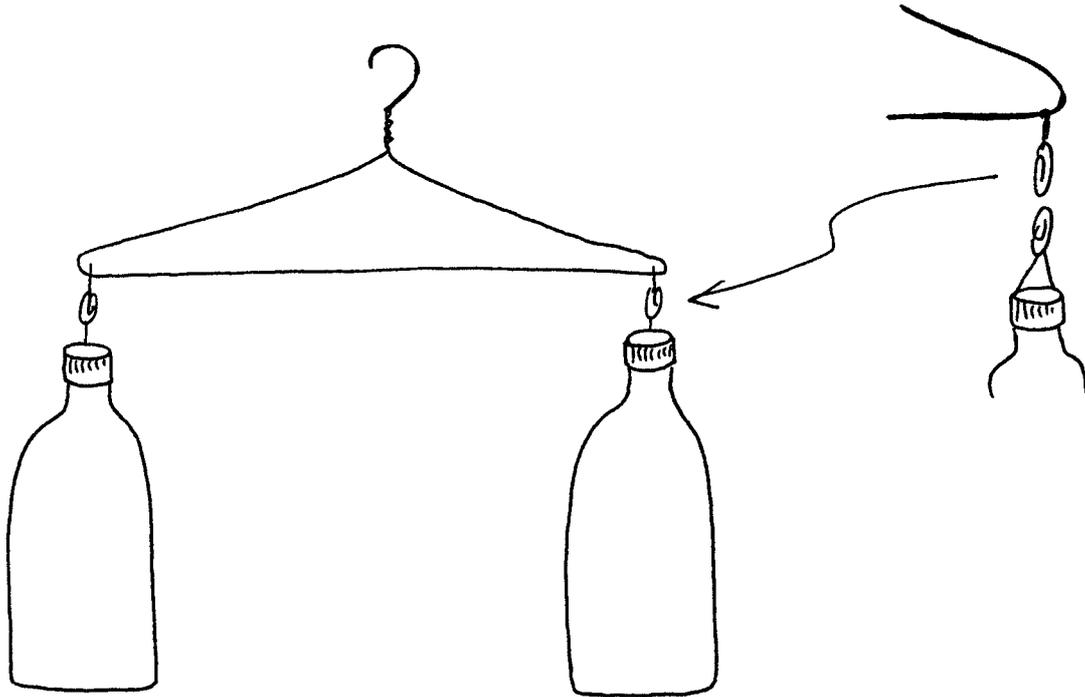


Al enfriarse el aire del interior de la botella se reduce su presión, con lo cual, las paredes de la botella se aplastan fácilmente por la mayor presión exterior.

Una variación de esta experiencia consiste en verter un poco de agua caliente en el interior de la botella y cerrarla. Cuando el agua se enfría, también lo hará el aire de su interior, disminuyendo la presión interior, con lo cual sus paredes se aplastan ligeramente debido a la presión atmosférica exterior.

### 6. Compara el peso de una botella llena de aire frío con otra llena de aire normal

Preparamos sendos dispositivos a base de clips e hilo en los extremos de una percha liviana (de plástico o alambre), de los cuales colgaremos dos botellas idénticas y tapadas, procurando que el sistema esté en equilibrio. Posteriormente introducimos una de las botellas destapada en el frigorífico durante unos quince minutos; la tapamos antes de sacarla y volvemos a colgarla del lugar que ocupaba en la percha-balanza. Observaremos que ahora se desequilibra el sistema hacia el lado en que está la botella que procede del frigorífico.



La botella que estaba en el frigorífico se ha llenado de aire frío, que es más denso que el aire que hay en la botella a temperatura ambiente. Por este motivo la masa (densidad multiplicada por volumen) del aire en la botella fría es mayor que la del aire en la otra botella y se refleja desequilibrando la balanza que hemos confeccionado con la percha.

### **7. Botella reventada en el congelador**

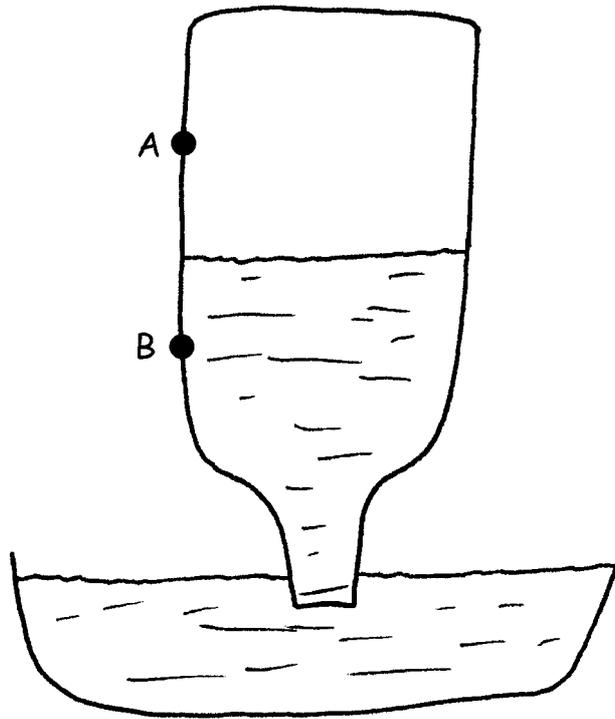
Llenamos completamente de agua una botella y después la guardamos bien cerrada en el congelador. Cuando haya transcurrido un tiempo suficiente para que se congele el agua de la botella, la sacamos del congelador, y observaremos que la botella se ha roto.



La densidad del hielo es menor que la del agua. Una vez congelada el agua de la botella ocupa más volumen que antes de introducirla en el congelador y la presión que ejerce sobre las paredes de la botella cuando el hielo se expande hace que éstas se rompan.

### 8. Aprieta la botella invertida

Llenamos media botella con agua y la colocamos boca abajo en un recipiente con agua, de manera que el cuello de la botella esté por debajo del nivel del agua del recipiente. Marcamos (con rotulador indeleble o con cinta aislante) el nivel del agua en la botella invertida y preguntamos a algún voluntario qué sucederá si oprimimos lateralmente en el punto A o en el punto B la botella: ¿subirá, bajará o no cambiará el nivel del agua?



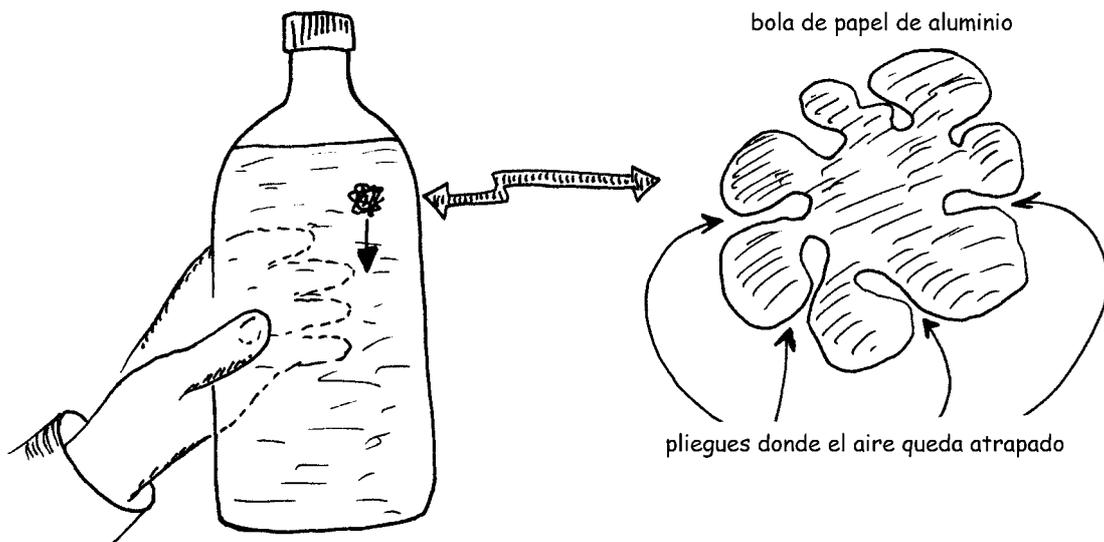
El nivel del agua en el interior de la botella es tal que la presión que ejerce la columna de agua más el aire contenido en su interior es igual a la presión atmosférica que actúa sobre la superficie del agua del recipiente.

Si se aprieta en el punto A, el volumen disponible para el aire se reduce, con lo cual se aumenta la presión en el interior de la botella y, por tanto, sobre la columna de agua, lo cual conlleva que se expulse agua para que se restablezca el equilibrio con la presión atmosférica. De este modo, el nivel descenderá.

Si se aprieta en el punto B sólo se altera la forma del recipiente, y el equilibrio de presiones se mantiene sin variar el nivel de la columna de agua en el interior de la botella.

### 9. Buzo cartesiano

Se arruga un pedazo de papel de aluminio (de aproximadamente  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ) hasta formar una pequeña bola que se introduce en el interior de una botella bastante llena de agua (puede quedar una cámara de aire de unos diez centímetros de altura). La primera cosa que puede sorprender es que flote el aluminio, cuando es más denso que el agua. Si apretamos las paredes laterales de la botella (previamente cerrada) la bola de aluminio se sumerge; si presionamos suavemente, podemos conseguir que la bola de aluminio permanezca quieta a una determinada profundidad; si dejamos de presionar, la bola asciende nuevamente hasta la superficie.



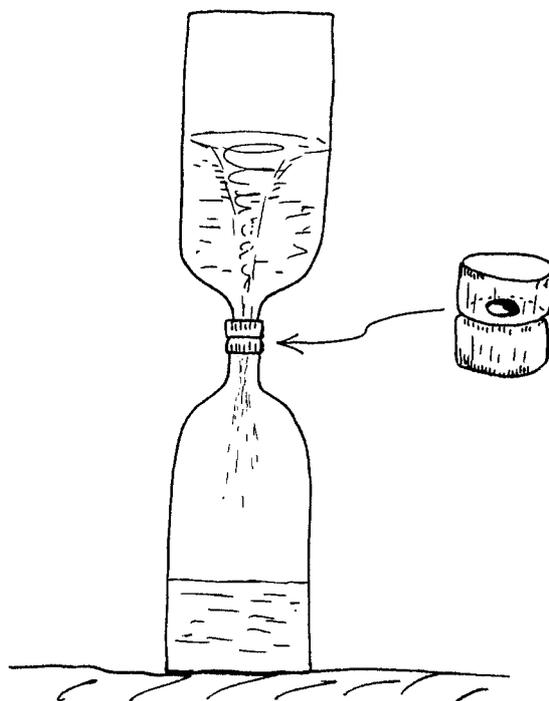
La bolita de aluminio flota porque al arrugarla quedó aire atrapado entre los pliegues del aluminio. Si se hubiera apretado mucho la bolita y no hubiera quedado aire atrapado, ésta se hubiera hundido, al ser el aluminio más denso que el agua; pero si se hubiera apretado muy poco la bolita de aluminio, dejando muchas porciones de aire en su interior, la bolita flotaría siempre y no se hundiría (o, al menos, habría que ejercer una presión exageradamente grande en las paredes de la botella).

De acuerdo con el principio de Pascal, la presión ejercida sobre las paredes de la botella se transmite íntegramente y por igual a todo el fluido contenido en la misma; este aumento de presión hace que se comprima el aire atrapado entre los pliegues y al reducirse el volumen de aire, disminuye el empuje y la bolita se hunde.

### 10. Tornado en una botella

Uniendo dos tapones por su parte plana y haciéndoles un agujero de aproximadamente un centímetro de diámetro se puede construir un conector de botellas. Hay diversos métodos para unir los tapones (con pegamento, con cinta adhesiva...), pero el que mejor funciona (al menos a mi, pues el conector no pierde agua ni se rompe fácilmente) es unirlos térmicamente; para ello, se colocan los tapones sobre una plancha (de asar carne o pescado) caliente y cuando “empiezan” a derretirse se juntan los tapones.

Se llena con agua una botella hasta aproximadamente tres cuartas partes y se conecta a otra botella vacía. Cuando la botella con agua está en la parte superior se observará que el agua no cae fácilmente a la botella inferior, pero si le damos un movimiento circular rápido al conjunto se generará un remolino de agua que facilitará el vaciado de la botella superior.



La dificultad para que caiga el agua (sin formar remolinos) a través del orificio que comunica las dos botellas puede entenderse tanto en términos de la poca compresibilidad del aire que hay en la botella inferior (el cual no deja espacio al agua que cae), como en términos de que la presión debida al aire ligeramente comprimido en la botella inferior (porque ha caído algo de agua) es mayor que la presión que ejerce la columna de agua más el aire que hay en la botella superior.

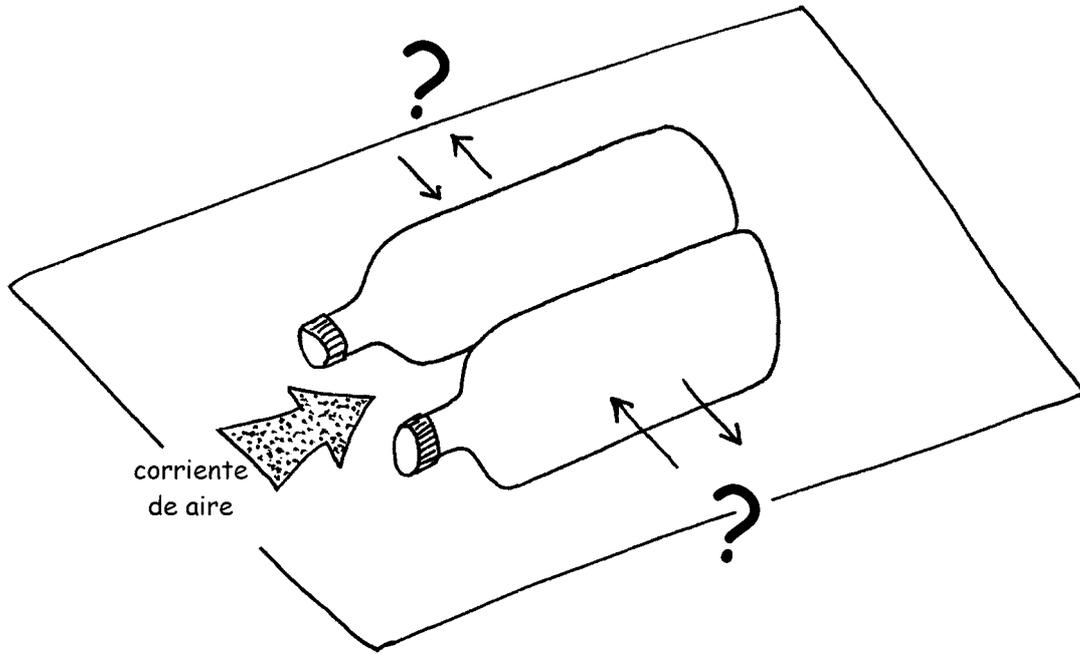
Cuando se genera el tornado, se pone en comunicación el aire que hay en ambas botellas y el agua de la botella superior puede desaguar fácilmente en la inferior.

Una cuestión interesante (a la vez que sutil) relacionada con esta actividad es el porqué de la larga duración del tornado cuando se vacía la botella, en comparación con la brevísima duración de un tornado generado en un recipiente cerrado. La respuesta reside en que el agua del recipiente gana momento angular a costa del agua que sale del mismo, aunque la discusión detallada excede el nivel de estas notas.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> R. Ehrlich, *Turning the World Inside Out and 174 Other Simple Physics Demonstrations*, p.70 F.4 Tornado in a bottle.

### 11. Soplar entre dos botellas acostadas

Colocamos dos botellas vacías sobre una superficie horizontal, de manera que estén paralelas y separadas unos pocos centímetros una de la otra. Con una hoja de papel (o con un pedazo del plástico lateral de una botella rota) soplamos entre las botellas y observaremos que éstas se aproximan (cuando intuitivamente esperaríamos que se alejaran).



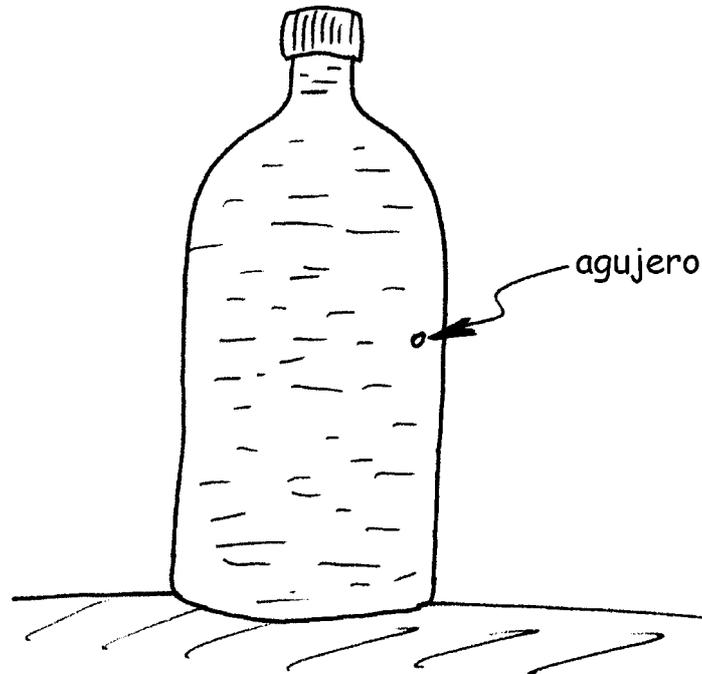
Para explicar este comportamiento suele recurrirse a la ecuación de Bernoulli, diciendo que en los lugares donde un fluido se mueve con mayor velocidad (el aire que hemos soplado entre las botellas), la presión es menor que donde el fluido está en reposo (el aire que se encuentra rodeando a las botellas por todas partes, excepto en la región intermedia, donde hemos soplado). Esta diferencia de presiones entre las regiones exterior e interior a las dos botellas es la responsable de que éstas se aproximen.

He de confesar que esta explicación, aunque fácil de comprender, deja insatisfechas a algunas personas (entre ellas, yo), pues la ecuación de Bernoulli se aplica a un tubo de corriente y en el caso de las dos botellas acostadas no se puede hablar de un único tubo de corriente para describir conjuntamente las regiones interior y exterior a las dos botellas.

La otra explicación (que a mi me parece más satisfactoria) está basada en la ley de conservación del momento lineal. Cuando el aire (o cualquier fluido real) se mueve en las proximidades de una pared le cuesta un poco separarse de la misma (esto se conoce como efecto Coanda y se observa fácilmente en las gotas que se escapan de las teteras o cafeteras cuando se vierte el líquido de su interior). Así, el aire que se envía entre las botellas abandona la región siguiendo el perfil de cada botella (que está curvado hacia la parte exterior de la región entre las botellas). Como inicialmente el momento lineal del sistema aire+botella no tenía ninguna componente en la dirección transversal al eje de la botella, para conservarse esa componente del momento lineal, la botella debe moverse en sentido contrario al del aire que abandona la parte curvada posterior de la botella.

### 12. Botella agujereada I

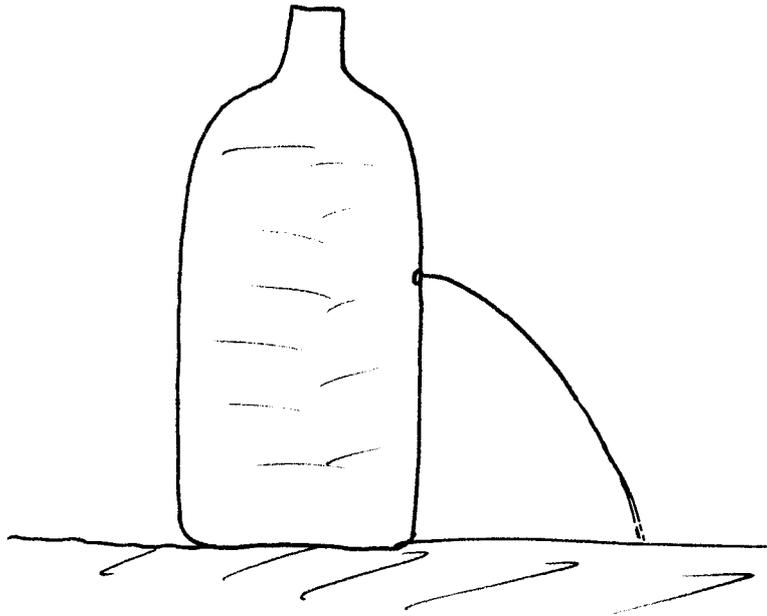
Hacemos un pequeño orificio en una botella, aproximadamente a la mitad de su altura, lo tapamos provisionalmente (con el dedo, cinta adhesiva o plastinina) y llenamos la botella completamente de agua, tapándola seguidamente. Al destapar el agujero se observa que no sale agua.



La presión hidrostática de la columna de agua que hay por encima del agujero es menor que la presión atmosférica del exterior del agujero, por ello el agua no puede salir contra la presión atmosférica.

### **13. Botella agujereada II**

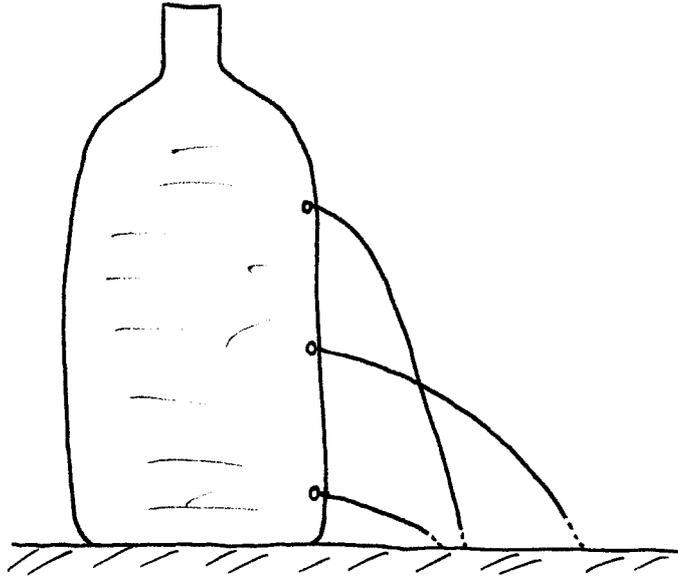
Cuando destapamos la botella agujereada de la actividad anterior observamos que sale un chorro de agua por el orificio. Si se realiza esta actividad colocando la botella sobre una superficie horizontal y se mide la altura del orificio respecto de la superficie y el alcance del chorro, puede determinarse la velocidad de salida del agua por consideraciones cinemáticas.



La velocidad de salida del agua es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad del agujero respecto de la superficie (de acuerdo con el teorema de Torricelli). Puede comprobarse esto observando cómo se modifica el alcance del agua (y, por tanto, su velocidad de salida) cuando varía el nivel del agua por encima del agujero.

### 14. Botella agujereada III

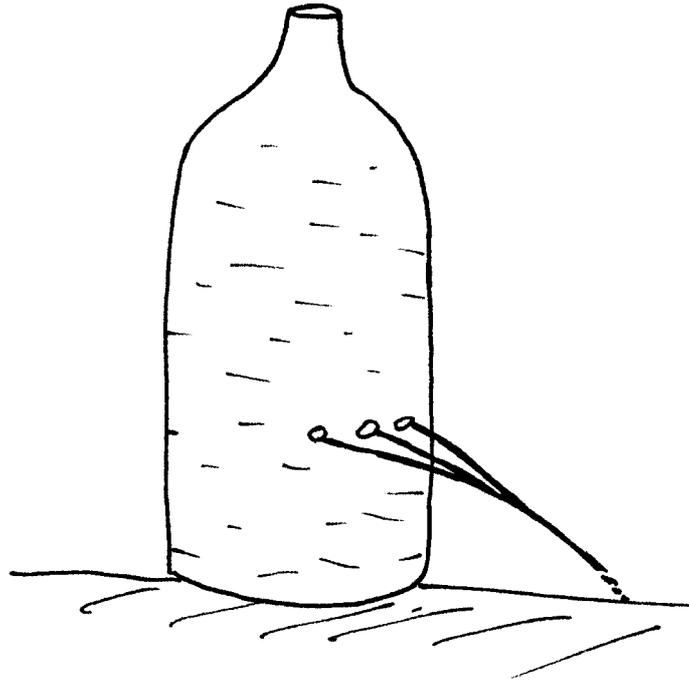
Seguimos aprovechando la botella agujereada y ahora le hacemos dos agujeros más, uno cerca de su base y otro en su parte superior (aproximadamente a un tercio y a tres tercios, respectivamente de la altura de su cara lateral). Tapamos provisionalmente los agujeros y llenamos la botella de agua. Conocida la dependencia de la velocidad de salida con la profundidad del agujero (teorema de Torricelli) se pregunta cuál de los tres chorros llegará más lejos (es decir, tendrá mayor alcance) sobre la superficie horizontal en que reposa la botella.



La tendencia natural es responder que los chorros que llegarán más lejos y más cerca, respectivamente, son los de los orificios inferior y superior (de hecho, hay muchos libros de texto –antiguos y actuales– que ilustran esta situación). Pero lo cierto es que es el chorro intermedio el que tiene mayor alcance, pues el alcance depende tanto de la velocidad inicial como del tiempo de caída (que es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del agujero sobre la mesa); así, mientras el chorro inferior sale con mayor velocidad pero cae durante menos tiempo (al estar más cerca de la superficie), el chorro superior cae durante más tiempo, pero sale con menor velocidad. El chorro del orificio intermedio tiene una velocidad de salida y un tiempo de caída intermedios entre los dos casos anteriores, lo cual hace que tenga mayor alcance.

### 15. Botella agujereada IV

Ahora haremos tres agujeros a la misma profundidad y separados entre ellos una distancia de un centímetro aproximadamente. Cubrimos los agujeros, llenamos de agua la botella y dejamos la botella destapada. Si descubrimos los agujeros observaremos que salen tres chorros de agua, cada uno de ellos en la dirección radial (es decir, perpendicular a la superficie de la pared de la botella en cada agujero). Con un poco de habilidad podemos reunir los tres chorros en uno de mayor diámetro.

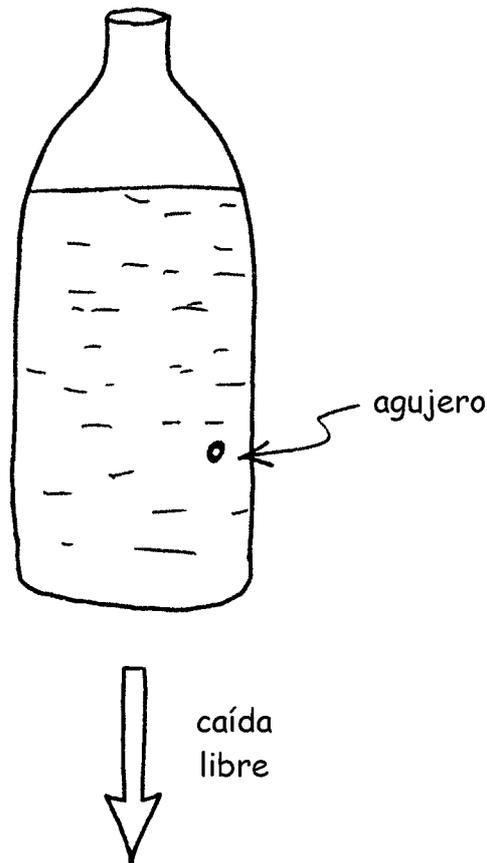


El hecho de que cada chorro salga en la dirección radial demuestra que la presión ejercida por el agua sobre la pared de un recipiente da lugar a una fuerza perpendicular a dicha pared, independientemente de la orientación de la misma); como el alcance es el mismo en los tres casos, esto pone de manifiesto que la presión sólo depende de la profundidad y no de la orientación de la pared.

Por otra parte, al unir los tres chorros de agua en uno de mayor diámetro se consigue reducir su superficie inicial (una porción determinada del chorro unificado tiene menos superficie lateral que tres veces la misma longitud de un chorro individual), de este modo se reduce la energía asociada a la tensión superficial del agua. Como los sistemas físicos prefieren estar, si es posible, en la condición de menor energía, la situación en que los tres chorros están unidos es más favorable que cuando los chorros están separados.

### 16. Botella agujereada en caída libre

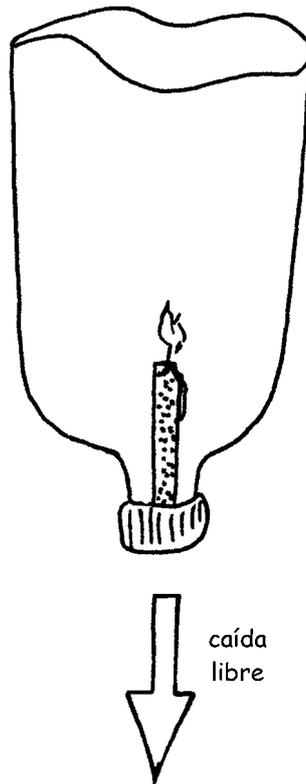
Si llenamos de agua las tres cuartas partes de la botella agujereada y no cerramos la botella con el tapón, cuando destapemos el agujero el agua saldrá por el mismo. Pero si dejamos caer libremente la botella observaremos que se interrumpe el chorro de agua que antes salía por el agujero.



Cuando la botella (con el agua) está cayendo libremente, puede considerarse que la botella constituye un entorno de microgravedad (en la terminología de los astronautas), es decir, que la gravedad se ha reducido de tal manera que sus efectos no se notan. Como la velocidad de salida del agua por el orificio depende de la aceleración de la gravedad, durante la caída libre no saldrá agua (es decir, la velocidad de salida será nula). Esta sensación de microgravedad (o ingravidez) es la que se experimenta en los descensos bruscos de las montañas rusas y otras diversiones similares (tipo emociones fuertes) de los parques de atracciones.

### 17. Vela en caída libre

Encendemos una vela y la introducimos dentro de una botella (que habremos desfondado previamente), apegándola a la parte interior del tapón. Si dejamos caer libremente la botella observaremos que la llama se hace más pequeña, adoptando una forma casi esférica, casi apagándose después de transcurrido un tiempo desde que se soltó la botella.

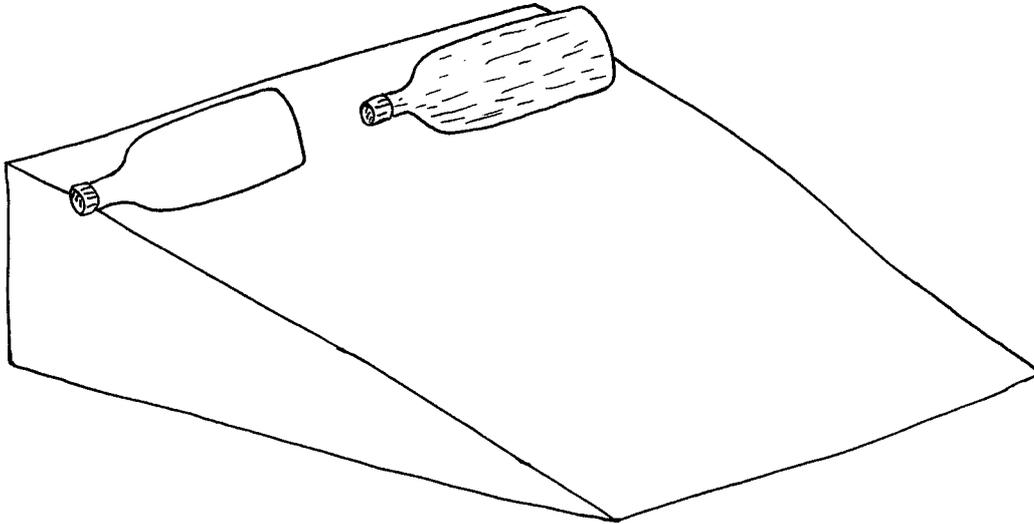


La llama de la vela se adopta la forma esférica porque el aire caliente ya no asciende en corrientes de convección, y, por el mismo motivo, puede llegar a apagarse porque el oxígeno consumido del entorno de la llama no se renueva. Aunque haya diferencias de densidad en el aire (más o menos caliente) del interior de la botella, desde el sistema en caída libre no se notan los efectos de gravedad, que es la responsable de la aceleración y consiguiente movimiento de las diferentes regiones de aire en la botella.

Conviene notar que es necesaria una caída libre de varios metros para que se observe este efecto.

### ***18. Dos botellas en un plano inclinado***

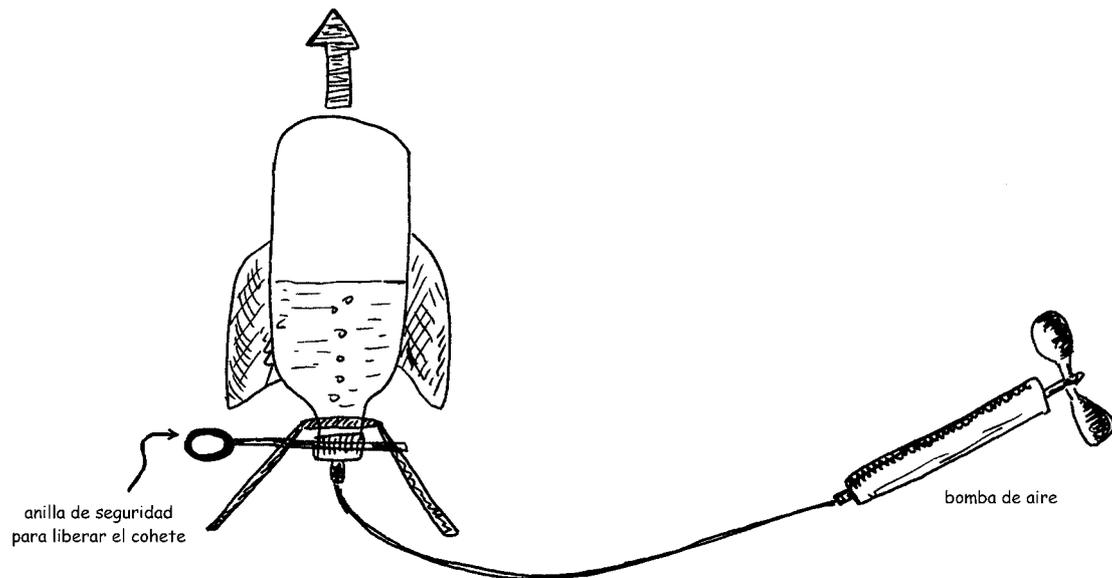
Dejamos caer dos botellas idénticas (una llena de agua y la otra vacía) desde la parte superior de un plano inclinado. La primera que llegará abajo será la que está llena de agua.



Esto se debe a que la botella llena de agua tiene su masa más distribuida alrededor del eje, mientras que la botella vacía tiene toda su masa acumulada en las paredes. La energía potencial que tenían ambas botellas se convierte durante la caída por el plano inclinado en energía cinética de traslación y de rotación, dependiendo el reparto entre ambas de cómo esté repartida la masa alrededor del eje de giro. En términos más técnicos, la figura geométrica a la que corresponda mayor momento de inercia (la botella vacía en este caso) le costará más girar y llegará la última al final del plano inclinado..

### 19. Cohete de agua

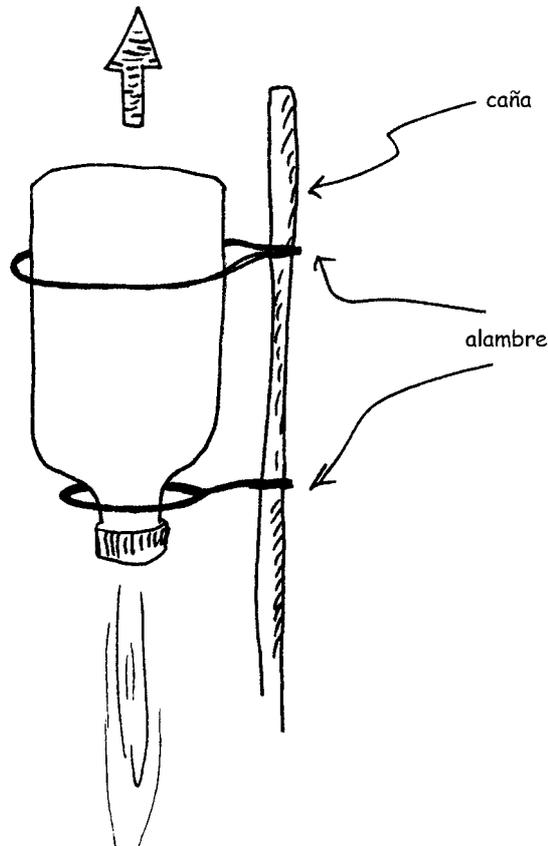
Para hacer un cohete de agua se llena una botella de gaseosa parcialmente con agua (aproximadamente la mitad) y se coloca boca abajo sobre el dispositivo de lanzamiento (el cual puede comprarse por unos 20 € o también puede ser de manufactura casera); mediante una bomba de bicicleta se le inyecta aire a la botella a través de una válvula que se coloca en el tapón. Cuando la presión en el interior de la botella es de 5 atmósferas (más o menos) se libera el mecanismo que retiene la botella y ésta sale despedida, alcanzando alturas de hasta 50 m o más.



Esta actividad ilustra el funcionamiento de un cohete, pero empleando aire comprimido y agua como propelente. La masa de agua sale despedida con una gran velocidad, debido a la enorme presión del aire interior del cohete; por la ley de conservación del momento lineal, el producto de la masa de agua por su velocidad debe compensarse con una gran velocidad del cohete (cuya masa variará a medida que se vaya expulsando agua) en sentido contrario.

## 20. Cohete de alcohol

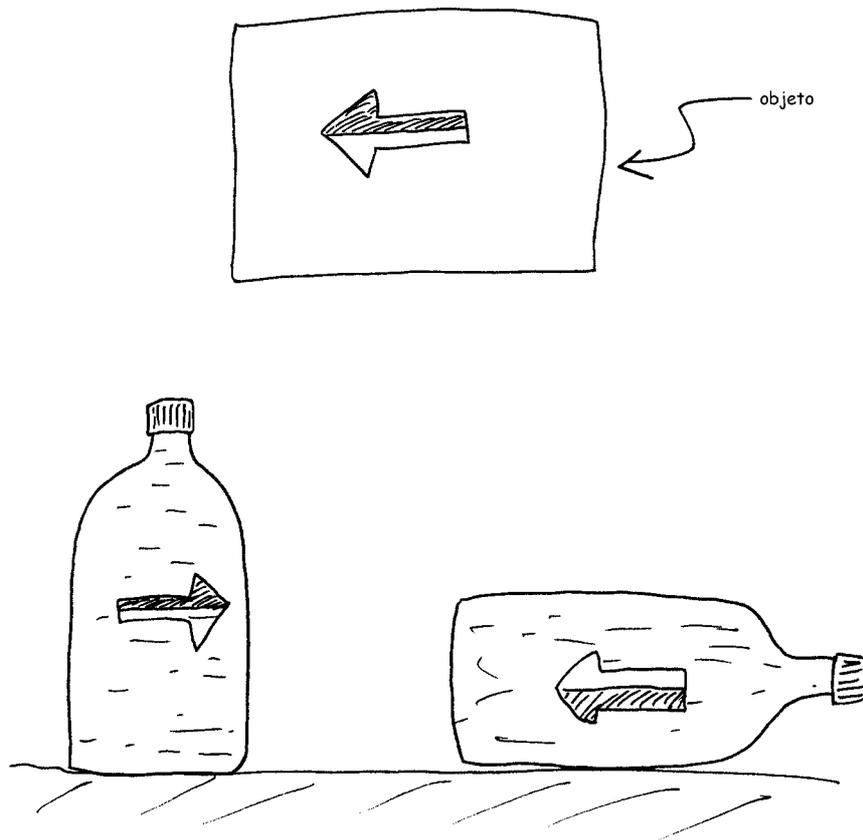
Esta actividad conviene realizarla con una botella de gaseosa pequeña (de medio litro), a cuyo tapón se le hace un pequeño orificio de 1 cm de diámetro. En el interior de la botella se depositan unas pocas gotas de alcohol de quemar, tras lo cual se cierra la botella con el tapón, se sacude la botella bocabajo para expulsar el exceso de alcohol y se coloca en el dispositivo de lanzamiento (que puede realizarse con alambres y una caña). A continuación se le acerca al orificio practicado en el tapón la llama de una cerilla o un mechero y la botella sale disparada.



El alcohol que hemos vertido en el interior de la botella se ha evaporado y al acercar la llama se produce su combustión. Debido a la alta temperatura que se alcanza en este proceso, los gases de la combustión son expulsados por el orificio del tapón con una gran velocidad. La conservación del momento lineal exige que la botella adquiera una velocidad en sentido contrario, alcanzando una altura apreciable. Conviene tener cierta precaución al realizar esta actividad (manteniendo alejada la botella de alcohol y las partes sensible del cuerpo –cara, manos...– del lugar donde se produce la ignición).

### 21. Lente con una botella

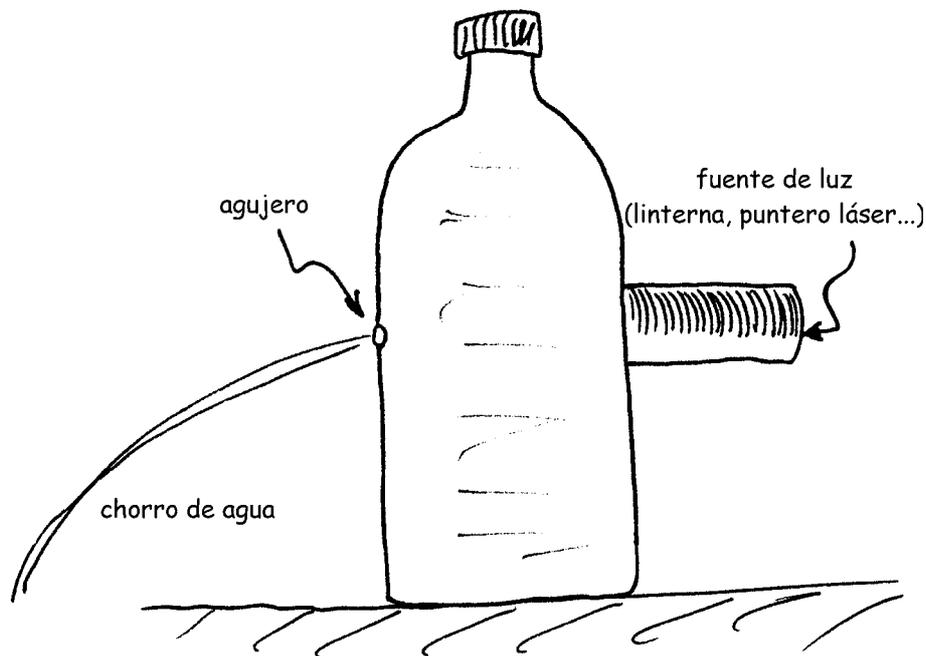
Llenamos completamente una botella de agua y observamos los objetos a su través. Cuando la botella está vertical los objetos que vemos han invertido sus partes izquierda y derecha, aunque las partes superior e inferior siguen en su sitio. En cambio, cuando la botella está acostada son las partes superior e inferior de los objetos las que aparecen invertidas, pero no sus partes izquierda y derecha.



La botella actúa como una lente cuyo índice de refracción es básicamente el del agua de su interior y siendo su plano de curvatura el que determina la dirección en la que se van a invertir las imágenes de los objetos que estén más alejados de la focal de la lente. Acercando o alejando un objeto se puede determinar (aproximadamente) la posición de la distancia focal cuando se observa que la imagen deja de estar invertida.

## 22. Chorro luminoso de agua

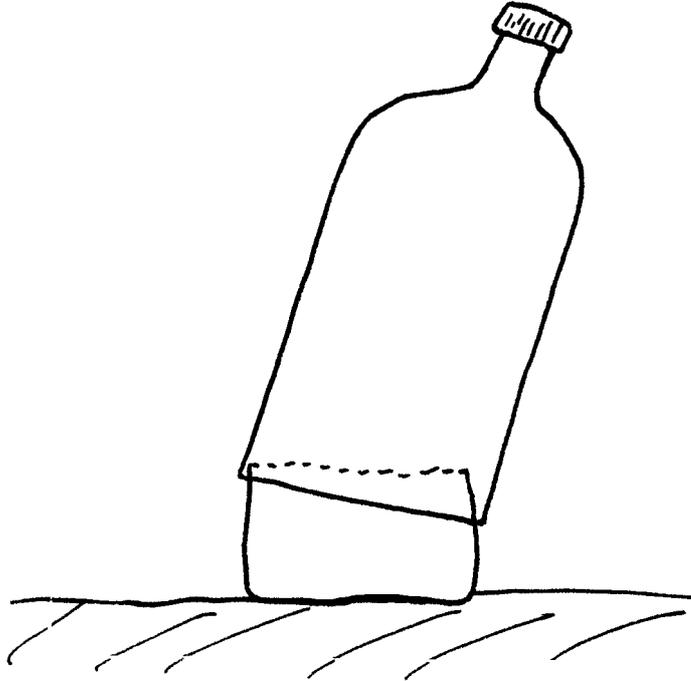
Se hace un pequeño orificio en la pared lateral de la botella, la cual se llena de agua (tapando provisionalmente el orificio). Iluminamos con un puntero láser o una linterna el orificio desde un punto diametralmente opuesto. Cuando destapamos el orificio el agua sale formando un chorro y el haz de luz se propaga por su interior rebotando en la superficie de separación del agua con el aire; veremos luz en el punto donde cae el chorro, cuando éste se rompe en gotas u, ocasionalmente, en los lugares donde el haz luminoso incide contra la superficie de separación agua-aire formando un ángulo menor que el ángulo crítico de reflexión interna total. Este efecto es más espectacular si se realiza la experiencia con la luz apagada y recubriendo la botella de papel negro.



Cuando un haz de luz incide sobre una superficie de refracción formando un ángulo mayor que el crítico, entonces se produce reflexión interna total. El chorro de agua actúa de manera análoga a una fibra óptica, guiando la luz por su interior.

### **23. Botella inclinada de Pisa**

Recortamos la parte inferior de una botella y luego la acoplamos a la parte superior de tal manera que podemos poner la botella inclinada y no se cae, como si fuera la torre inclinada de Pisa.



La botella no se caerá mientras su centro de masa esté por encima de la base sobre la que se apoya.

#### 24. Varita mágica

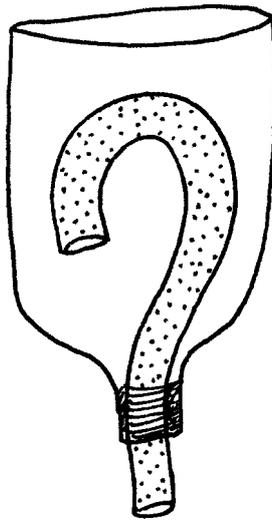
Recortamos la pared lateral de una botella y luego la enrollamos poniendo sendos tapones de corcho en sus extremos. Sujetamos todo el sistema con cinta adhesiva, sin dejar ningún resquicio. Quitamos uno de los tapones de corcho y vertemos arena de playa (seca y cribada), hasta que esté medio lleno el tubo o varita que hemos construido; también introducimos un pequeño guijarro (a ser posible, coloreado, para que destaque más; o una bola de acero) y cerramos la varita. Con el guijarro situado en la parte inferior de la varita y cubierto de arena le pedimos a una persona que intente pasar el guijarro hasta la parte intermedia de la varita.



El procedimiento para conseguirlo consiste en disponer verticalmente la varita, con el guijarro en la parte inferior y sacudirla vigorosamente. Poco a poco el guijarro irá ascendiendo entre la arena, debido a un fenómeno bastante complejo, típico de medios granulares, conocido como “efecto nuez de Brasil”, en el cual la agitación del recipiente hace que los granos menores (de arena) ocupen los huecos que quedan por debajo del guijarro, a la par que se establece una especie de corriente de convección que asciende por el centro del recipiente y desciende cerca de sus paredes, pero dada la estrechez de la corriente de convección de descenso, sólo puede bajar la arena y no el guijarro.

## 25. Vaso de Tántalo

Quitamos el fondo de una botella de plástico y hacemos pasar un tubo de goma (como el de una manguera, más o menos) por su interior; para que el tubo ajuste bien con la boca de la botella podemos rodear con cinta aislante la porción del tubo que estará en contacto con la misma. Doblamos en forma de bastón (o de signo de interrogación) el tubo interior a la botella y comenzamos a verter agua por su parte superior. Observaremos que el nivel del agua va subiendo hasta que cuando llega a la parte más alta del tubo, ésta comienza a salir por el extremo inferior del tubo. Esta descarga del agua dura hasta que el nivel desciende a la altura de la abertura del tubo que se haya dentro de la botella.



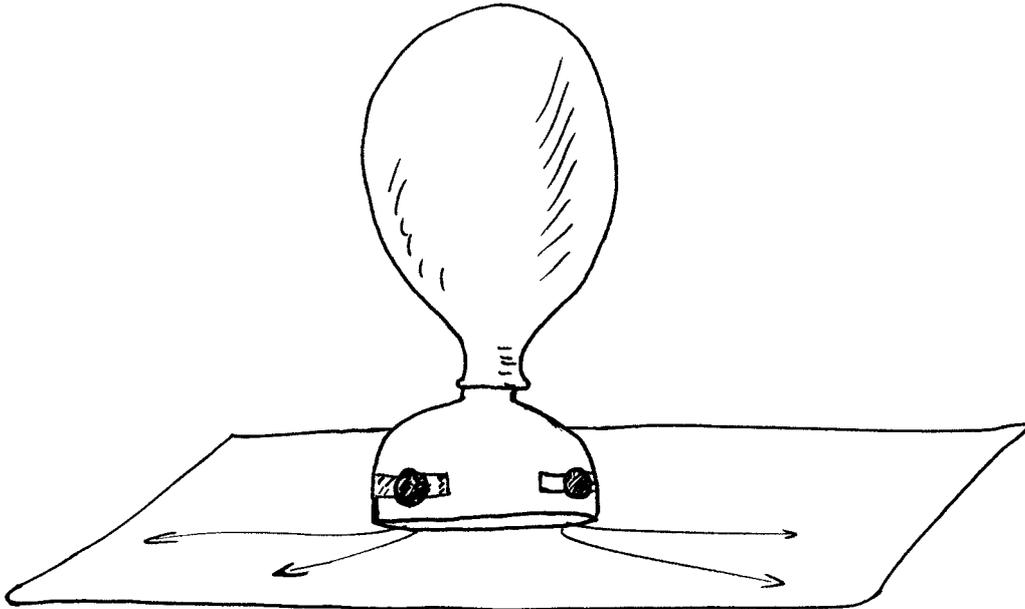
Este dispositivo no es otra cosa que un sifón<sup>3</sup> intermitente. Cuando la columna de agua que hay en el tubo exterior pesa más que la del tubo interior, aquella comienza a caer y arrastra el líquido que hay en el interior del recipiente (la columna de líquido no se rompe debido a la enorme fuerza de cohesión entre las moléculas de agua).

---

<sup>3</sup> Se le da el nombre de vaso de Tántalo porque ilustra el castigo de Tántalo –un personaje de la mitología griega–, condenado a estar en el centro de un estanque, de manera que cuando se inclinaba para beber agua ésta retrocedía sin que le diera tiempo a mojarse los labios (que es algo parecido a lo que ocurre cuando el agua está a punto de sobrepasar el nivel superior del tubo de goma, momento en que su nivel comienza a descender, y la historia se repita tantas veces como queramos sin que el nivel llegue a superar dicha parte superior).

## 26. Aereodeslizador

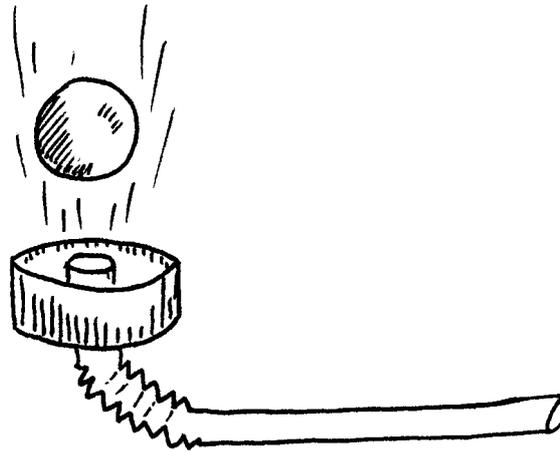
Con la parte superior de la botella se puede construir un aereodeslizador (*hovercraft*) tal como se describe a continuación. Hacemos un orificio de 1 cm en un tapón y lo colocamos cerrando (lo que queda de) la botella, a cuyas paredes interiores habremos pegado con cinta adhesiva tres monedas de 0.20 €, distribuidas simétricamente. Le ponemos un globo por encima del tapón y lo hinchamos soplando desde dentro de la botella. Cuando pongamos la porción superior de la botella sobre una superficie lisa, dejaremos que se desinfe el globo y le daremos un pequeño impulso, observando que se desliza con relativa facilidad.



La salida del aire a presión por debajo de la botella reduce la fricción y facilita que ésta se pueda deslizar más de lo que haría cuando está en contacto directo con la superficie. Las monedas hay que añadirlas para que el centro de masa del sistema esté suficientemente bajo, evitando así que vuelque debido al peso del globo que está situado en la parte superior del dispositivo.

## 27. Pipa de aire

Se perfora el tapón de una botella de manera que se pueda hacer pasar una pajilla de tomar refresco, colocándola como se ilustra. Si encima del tapón se pone una pelota liviana y se sopla por la pajilla se observará como la pelotita asciende, sin caerse (aunque esto depende un poco de nuestra habilidad y de nuestra capacidad pulmonar, cosas ambas que se mejoran con el entrenamiento).



El ascenso de la pelotita es debido a la presión que ejerce el aire que sale de la pajilla y que golpea su parte inferior (si no se sopla fuerte, no se produce suficiente fuerza de sustentación, pero si se sopla muy fuerte puede lanzarse la pelotita muy lejos –aunque fuera del control de la pipa de aire–).

La estabilidad de la pelotita que no se sale de la región que forma el chorro de aire suele explicarse en términos de que la presión en la región interior del chorro es menor que la presión atmosférica (por estar en movimiento respecto al aire exterior en movimiento). Este recurso a la ecuación de Bernoulli tampoco me satisface plenamente (como ya comenté anteriormente), pues esta ecuación se ha de aplicar para comparar la presión y la velocidad en dos puntos de un tubo de corriente y aquí se está comparando la presión y velocidad dentro y fuera del tubo de corriente que forma el chorro de aire que se envía a la pelotita.

La explicación de la estabilidad de la pelotita en términos de la ley de conservación del momento lineal me parece que ofrece menos objeciones. Cuando la pelotita se desvía de la línea central del chorro de aire, el aire que rodea (debido al efecto Coanda) la parte de la pelotita más próxima al eje central del chorro sale despedido alejándose del eje; por conservación del momento lineal (o por el principio de acción y reacción si se prefiere para el caso de dos cuerpos), la pelotita tiene que moverse hacia el eje (en sentido contrario al aire despedido), de manera que tiende a permanecer estable en el centro del chorro. La rotación que se observa de la pelotita está más en sintonía con esta segunda explicación.

## 28. Achatamiento de la Tierra por sus polos

Haciendo girar con un berbiquí (u otro tipo de dispositivo giratorio) tiras de una botella de gaseosa, tal como aparece en la figura adjunta, se puede ilustrar el achatamiento de los meridianos terrestres por los polos.

Esta experiencia fue publicada<sup>4</sup> para visualizar cómo una esfera (deformable) adopta la forma oblata cuando gira y, así, mostrar cómo una nube de polvo y gas estelar puede llegar a formar el sistema solar, que es relativamente plano.

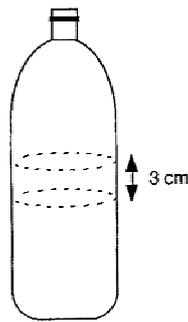


Figure A

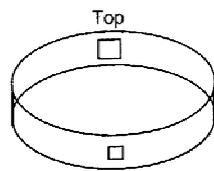


Figure B

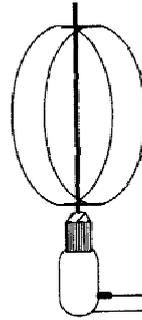


Figure C

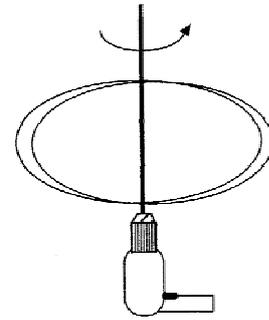


Figure D

A continuación se muestra el aparato que construyó uno de los alumnos que participó en un curso que impartí en Cieza (Murcia) durante el año 2004.



<sup>4</sup> D. Heiden, Trick of the Trade, "Homemade Spinner Demonstrates Formation of Solar System", *The Physics Teacher* **38** (Sept. 2000) 378.

***29. Lanzamiento del tapón aplastando bruscamente una botella***

Si se coloca horizontalmente una botella con su tapón apenas apretado, al darle un pisotón brusco éste saldrá disparado.

Al apretar bruscamente la botella su volumen se reduce de golpe y la presión del aire (que ocupaba dicho volumen) aumenta mucho, pues el aire no se puede comprimir tanto. La presión que ejerce el aire en las paredes interiores de la botella (y el tapón) es tan grande que si el recipiente estuviera perfectamente cerrado, se romperían sus paredes; pero al estar el tapón poco apretado, el aire consigue arrastrarlo al presionar sobre él.

### 30. Una pelota de ping pong tapa la boca de una botella llena de agua boca para abajo

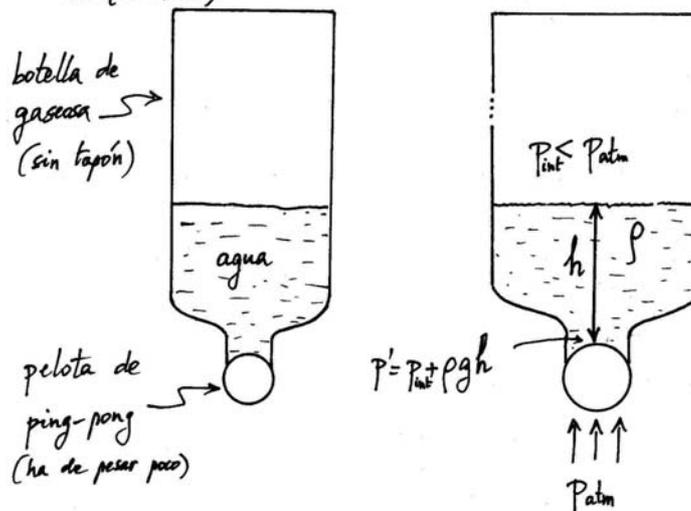
Ésta es una variación de la experiencia tradicional que consiste en llenar un vaso de agua y taparlo con una cartulina o naipes (que cubra colgadamente la boca del vaso), de manera que al darle la vuelta suavemente y colocar el vaso boca para abajo, no se derrama el agua de su interior.

La pelota de ping pong (o de poliexpán, o una cartulina, naipes...) se aguantan sin caerse gracias a la diferencia entre las presiones que actúan sobre ella ( $p_{\text{atm}} > p_{\text{int}}$ ) y también contribuyen los efectos de la tensión superficial, pues el agua "moja" la superficie de la pelota.

[La ilustración muestra una botella de vidrio porque no tenía a mano una botella de gaseosa cuando tenía la cámara fotográfica para realizar la fotografía, pero la experiencia funciona perfectamente también con una botella de gaseosa]



También puede realizarse la experiencia con una botella de vino (de vidrio)



Similar a emplear una cartulina para tapar un vaso con agua y luego darle la vuelta: el agua no se cae.