

# Savoir sans Frontières

*Las aventuras de Anselmo*

## ¿Y SI VOLÁRAMOS?

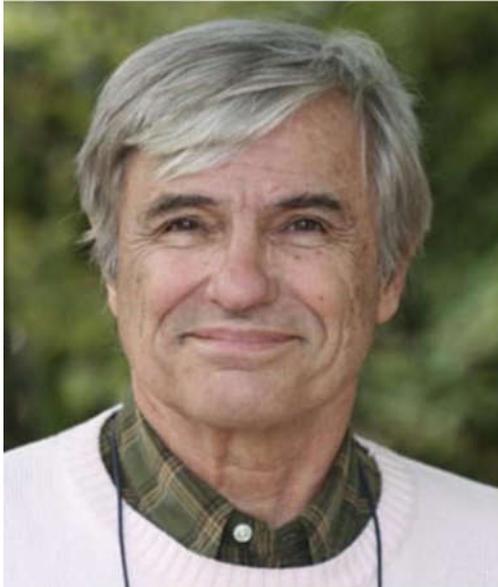
Jean-Pierre Petit



Traducción: Juan Carlos Anduckia

# Saber sin Fronteras

**Asociación sin ánimo de lucro creada en 2005 y administrada por dos científicos franceses. Su finalidad: difundir conocimientos científicos por medio de historietas en PDF descargables de manera gratuita. En 2020 hemos completado 565 traducciones en 40 lenguas. Y más de 500.000 descargas.**



**Jean-Pierre Petit**



**Gilles d'Agostini**

**La asociación es completamente voluntaria. El dinero donado es usado en su totalidad para retribuir a los traductores.**

**Para hacer una donación, use el botón de PayPal en la página de inicio:**

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



... Ustedes saben, sin el roce del aire el flujo alrededor del perfil sería totalmente diferente y no aportaría la fuerza de sustentación necesaria...

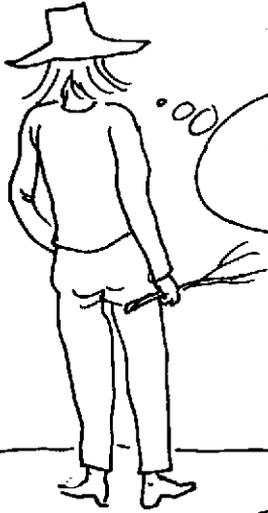


# PRÓLOGO

Una mañana, Anselmo se levanta de muy mal humor



Anselmo se sentía triste y vacío. La Tierra le parecía plana y monótona. Los días se parecían unos a otros como gotas de lluvia ...



Max... ¿Dónde está Max?



Está allá arriba.  
¡Qué afortunado que es!

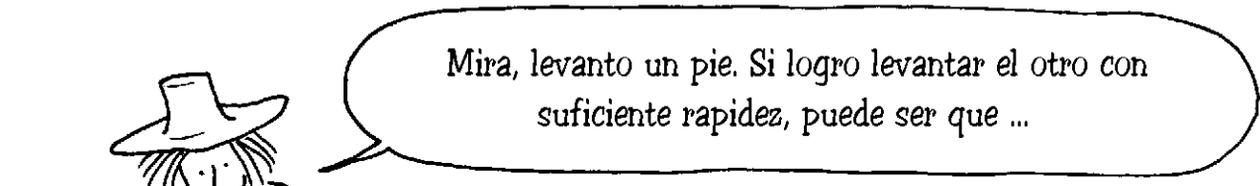


**MAX!**  
¡Yo también  
quiero  
**VOLAR !**



¿Volar? ¿Tú?  
¡Santo cielo!

Max, tienes que enseñarme a volar.  
Tiene que haber una manera. ¡Estoy  
cansado de arrastrarme sobre la Tierra!



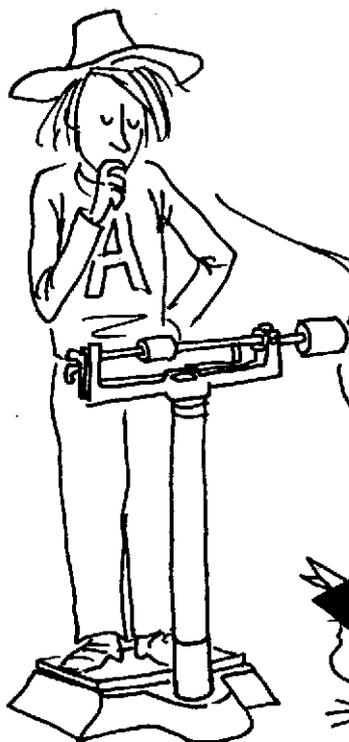
Mira, levanto un pie. Si logro levantar el otro con  
suficiente rapidez, puede ser que ...



Tiene que haber sido todo el  
aire que pesa sobre mis  
espaldas

¡Al contrario! ¡De acuerdo con el principio de Arquímedes,  
la presión del aire hace que tu peso disminuya unos ochenta  
gramos!

# HABÍA UNA VEZ UN HOMBRE LLAMADO ARQUÍMEDES



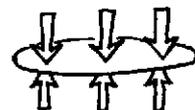
¿Quieres decir que cuando me peso la balanza no indica mi peso verdadero a causa del empuje de Arquímedes?



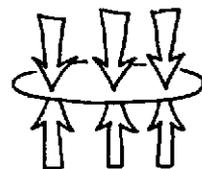
Exacto.  
En realidad tú pesas ochenta gramos más



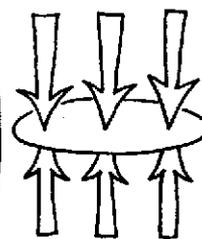
Ah, sí, el principio de Arquímedes...  
Me suena conocido...  
¿pero de qué se trata exactamente?

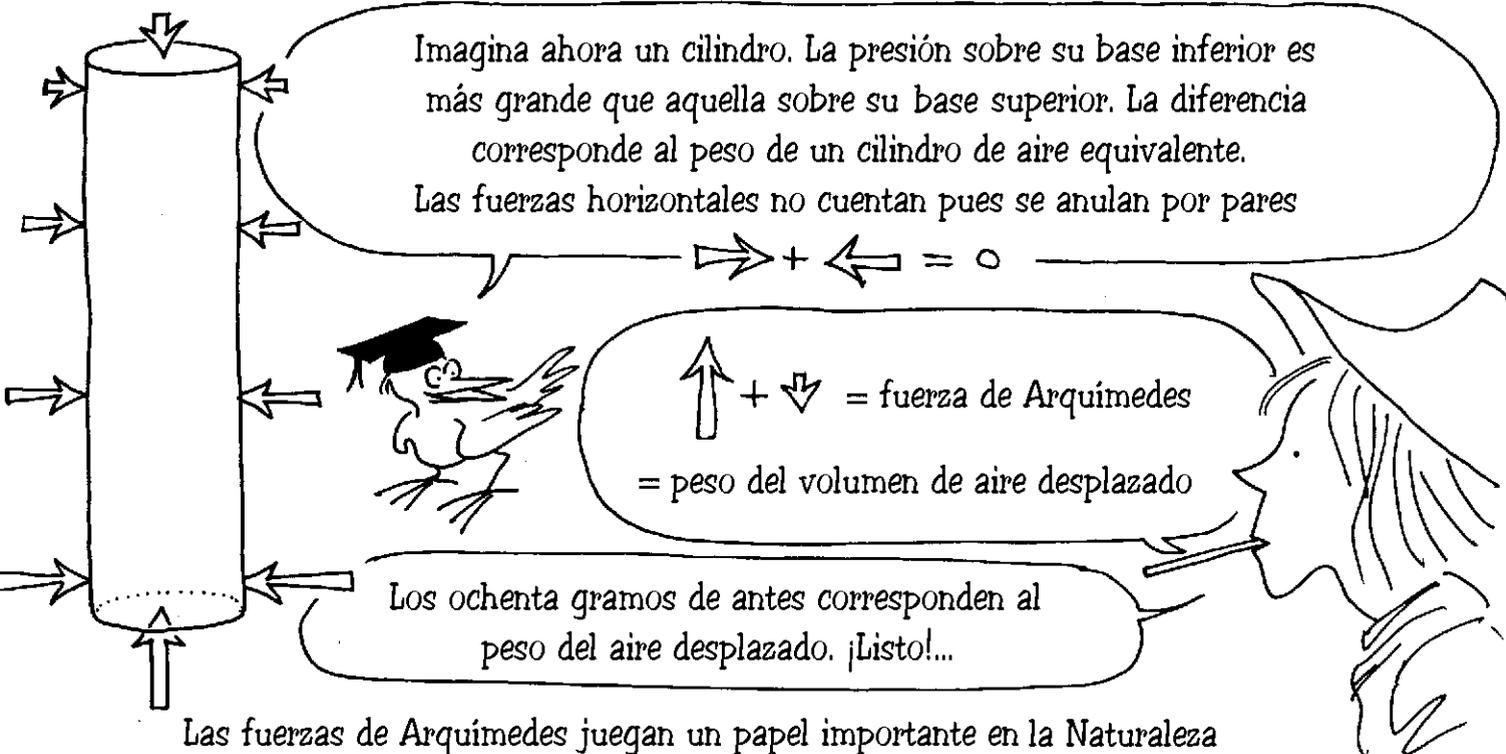


Fuerzas que actúan  
sobre un disco  
sumergido en un fluido



Imagina un disco inmerso en la atmósfera. La columna de aire encima de él pesa sobre su superficie superior. Entre más alta sea esta columna, más grande es la fuerza. Pero si el disco es muy delgado, una fuerza de presión igual y opuesta se ejerce sobre su superficie inferior, y la suma de las fuerzas se anula.





# CORRIENTES DE CONVECCIÓN



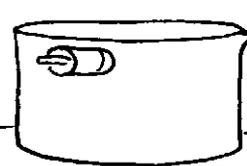


Es un sistema algo primitivo pero eficaz. ¡Está hirviendo!

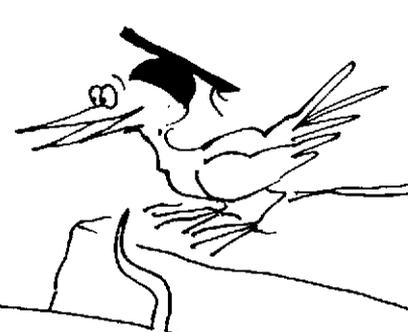


¡Vaya, este té está completamente frío!

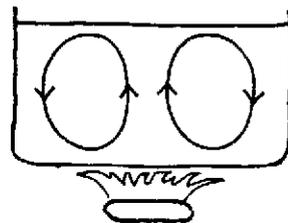
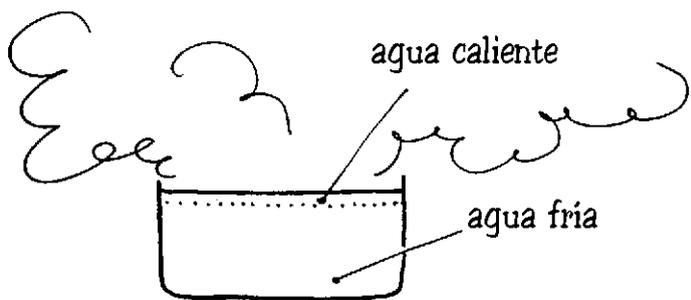
¡Y el agua en la olla también!



¡No lo puedo creer, hace un minuto estaba hirviendo!

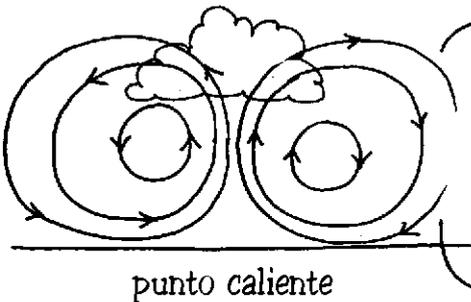
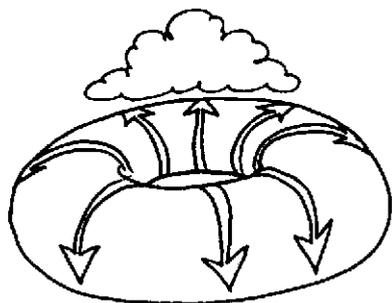


Sólo calentaste la capa superficial, y esta película de agua caliente, dilatada y por lo tanto menos densa, flota. ¡Eso es todo!

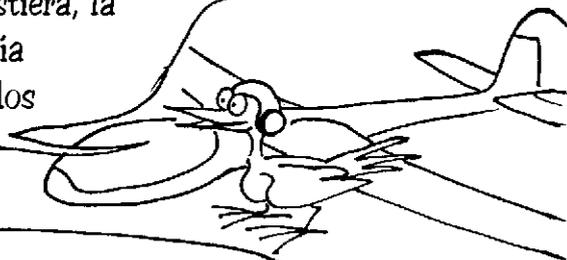


Si, por el contrario, se calienta el agua por debajo, allí el agua, dilatada, por lo tanto menos densa, tenderá a ascender. Se enfriará en la superficie, se contraerá y redescenderá por los lados. Esta es la **CONVECCIÓN NATURAL**.

En la atmósfera tiene lugar este mismo fenómeno. Ciertos puntos del suelo absorben más el calor del sol que otros. En dichos puntos el aire se carga de humedad (entre más caliente, más agua puede contener en estado de vapor), se dilata y tiende a ascender. A una cierta altura, el enfriamiento produce la condensación del vapor de agua en gotitas, dando lugar a un bello **CÚMULO**.



Este fenómeno de mezcla hace más homogénea la temperatura del aire. Si no existiera, la temperatura del suelo alcanzaría centenares de grados centígrados



Si me agarrara a una de esas burbujas de aire caliente, tal vez lograría volar...



¡Atención a dónde pones los pies, santo cielo!



¿Quién dijo eso?

¿No podrias ir a pensar a otra parte?

¡Por poco y me pasas por encima, sopenco!

Oh, disculpa

¿Volar? ¡Ja! ¡Como si la vida no fuera ya bastante complicada!

¡Ante todo, nuestros sabios han establecido que eso es matemáticamente imposible!

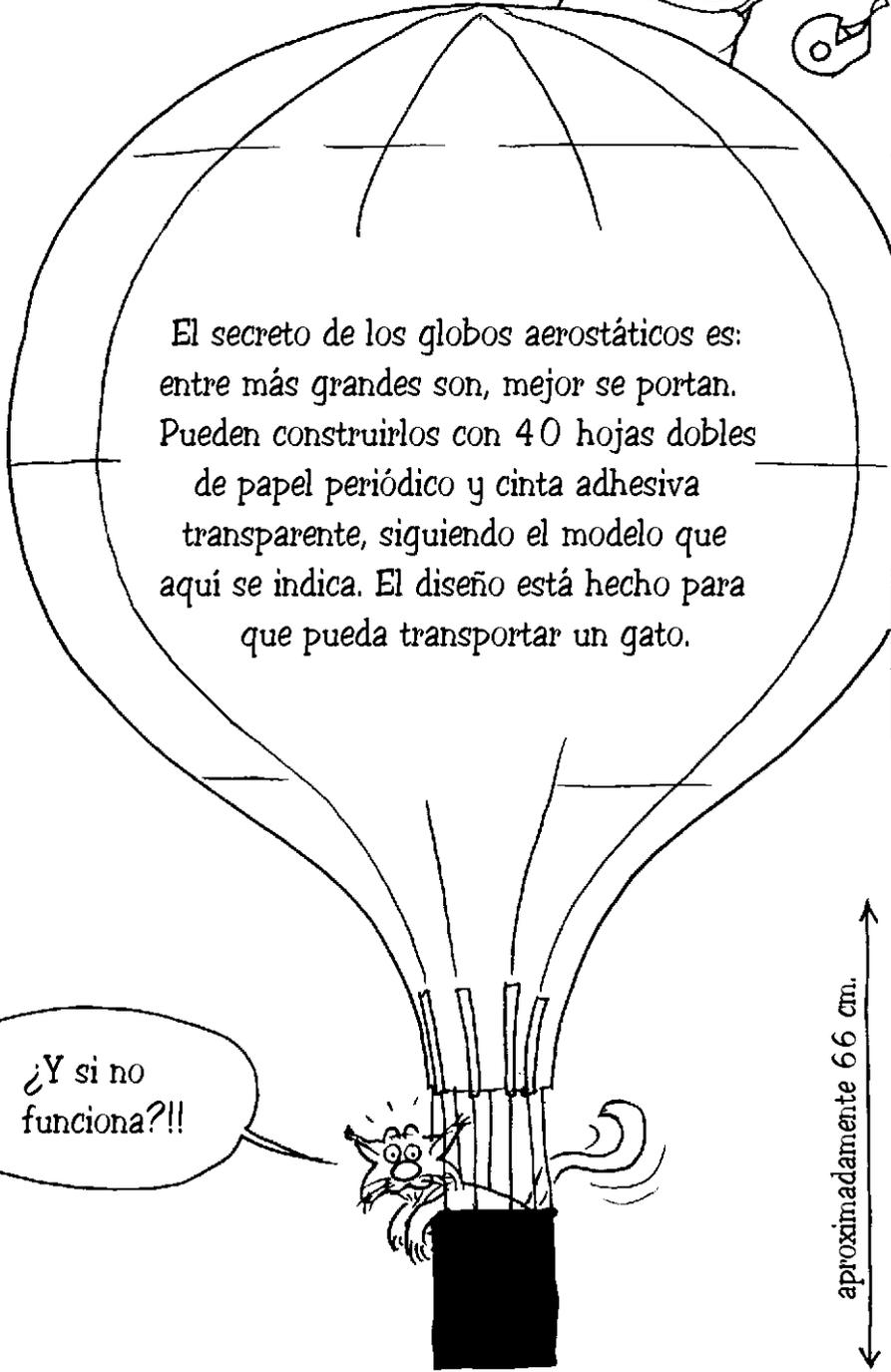
¿Y, francamente, no creen que hay cosas más serias por hacer que... volar?

¡Figúrate!

¡Lo tengo!  
Pondré una burbuja de agua caliente dentro de una bolsa

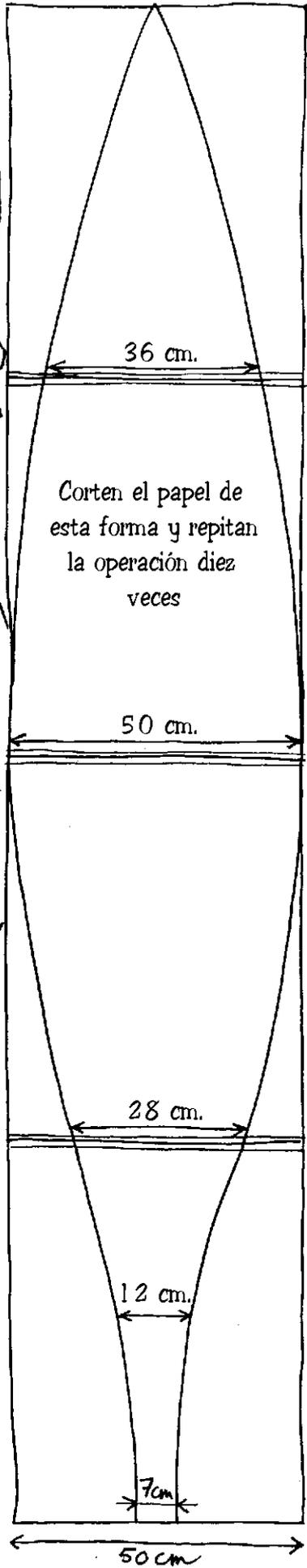


# MÁS LIGEROS QUE EL AIRE



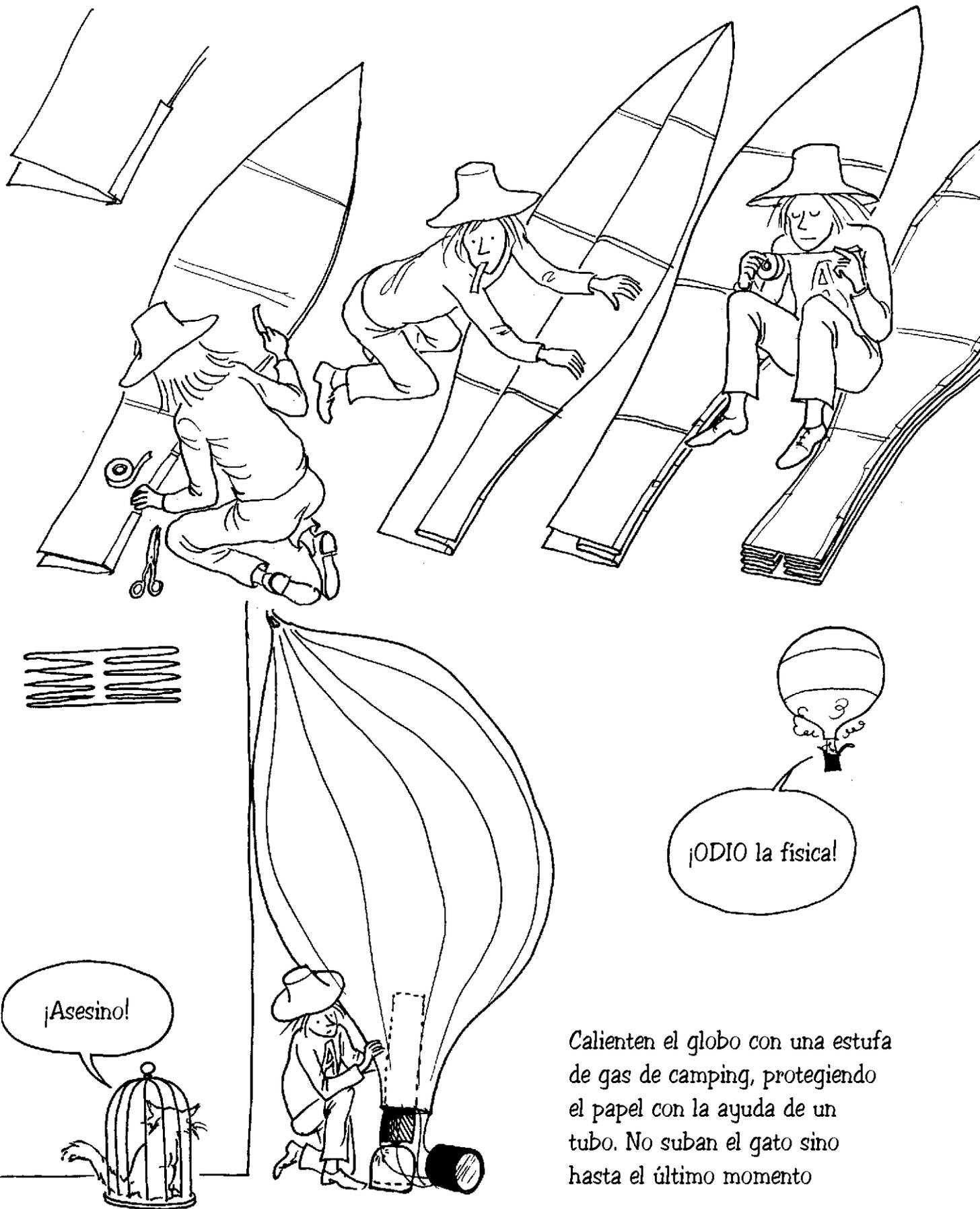
El secreto de los globos aerostáticos es: entre más grandes son, mejor se portan. Pueden construirlos con 40 hojas dobles de papel periódico y cinta adhesiva transparente, siguiendo el modelo que aquí se indica. El diseño está hecho para que pueda transportar un gato.

¿Y si no funciona?!!



Cuatro hojas dobles de papel periódico, unidas con cinta adhesiva

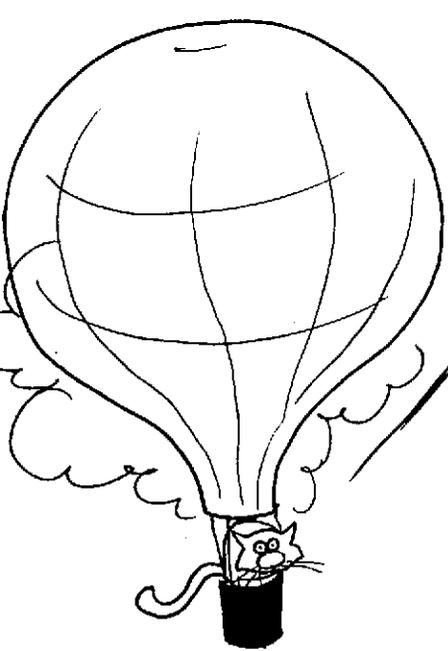
Miren cómo Anselmo construye su nave, más ligera que el aire :



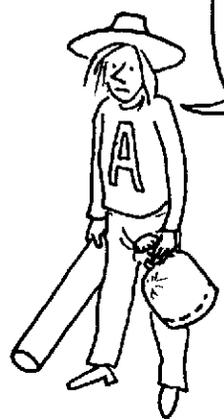
¡ODIO la física!

¡Asesino!

Calienten el globo con una estufa de gas de camping, protegiendo el papel con la ayuda de un tubo. No suban el gato sino hasta el último momento



¡Ningún gato ha hecho jamás lo que yo estoy haciendo!

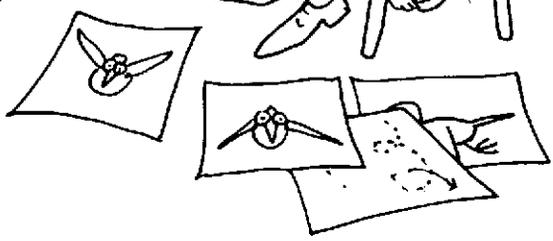


Sueños de papel...  
Este diseño no me llevará muy alto.  
Además, es presa fácil de los vientos y no lo puedo guiar a donde quiero...

¿Cuál es entonces el secreto del vuelo?



¡Date prisa, que estoy cansado!





Nada que hacer, no funciona.  
¡Hay algo que se me escapa!



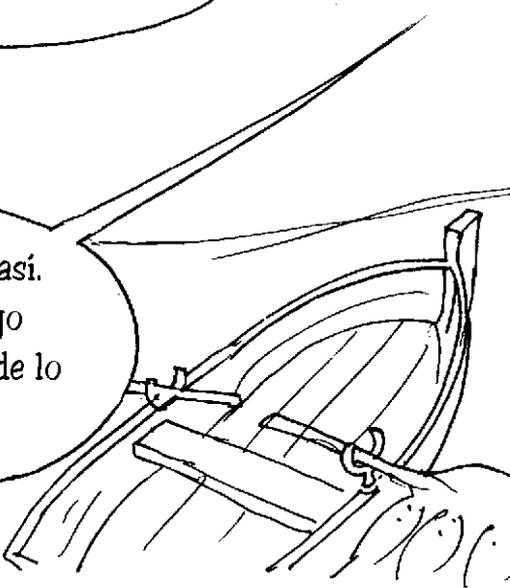
Psss...  
Psss...



Anselmo, para volar es necesario que te familiarices con la MECÁNICA DE FLUIDOS. ¡Volar no es tan fácil!



¿Qué es exactamente un fluido?  
¿Es algo que fluye?



Sí, si quieres decirlo así.  
Pero es también algo mucho más complejo de lo que imaginas



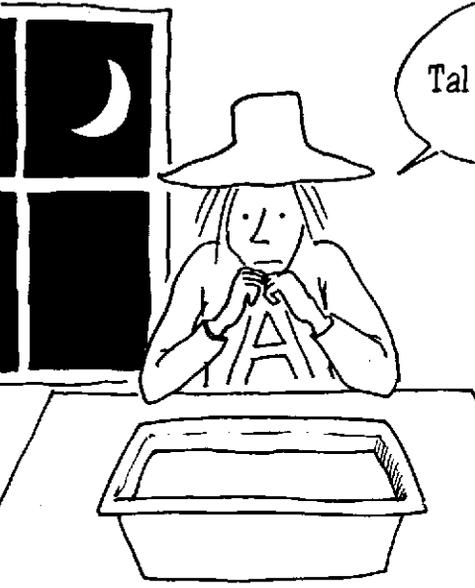
# FLUIDOS





Puse la pelota bajo la arena y la moneda en la superficie. Lógicamente, la moneda debería descender y la pelota volver a la superficie

Nada...

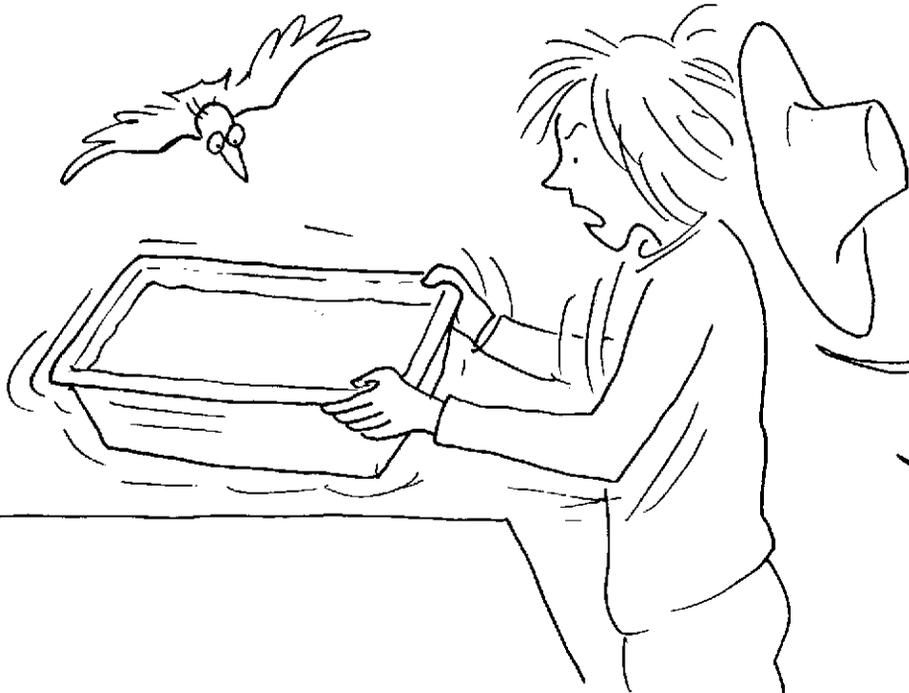


Tal vez si espero un poco más...



¿Se ha vuelto loco tu amigo?

Con la fisica hay que tener mucho cuidado



¡Por todos los demonios con este experimento!

¡Ya basta!



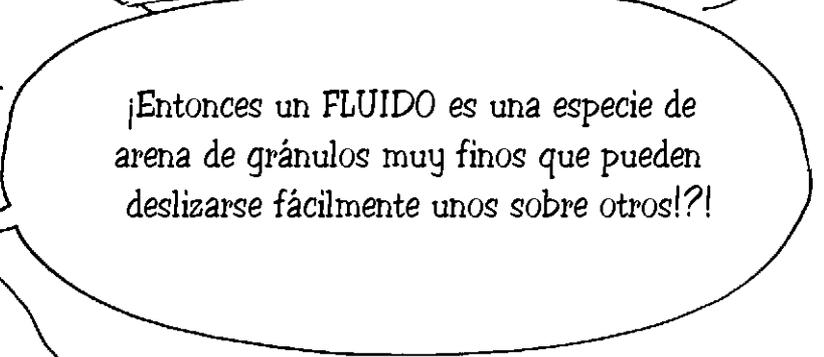
¡Mira, la pelota ha vuelto a la superficie!



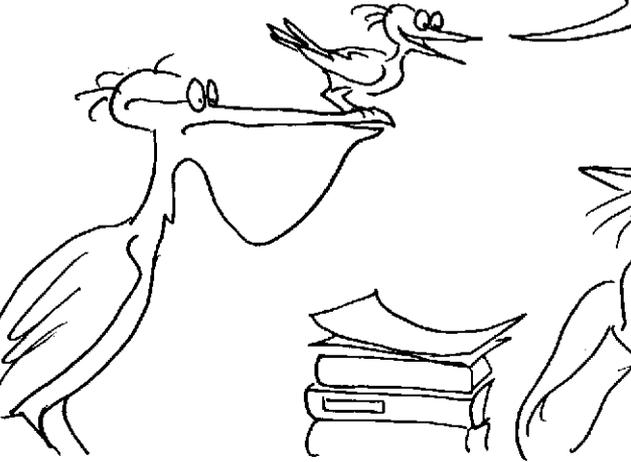
Y la moneda ha ido al fondo. Sacudiendo la arena, Anselmo provocó que sus granos se deslizaran unos sobre otros, y la arena se volvió FLUIDA



Sofia dice que entre más finos sean los granos, más rápido se produce el fenómeno



¡Entonces un FLUIDO es una especie de arena de gránulos muy finos que pueden deslizarse fácilmente unos sobre otros?!'

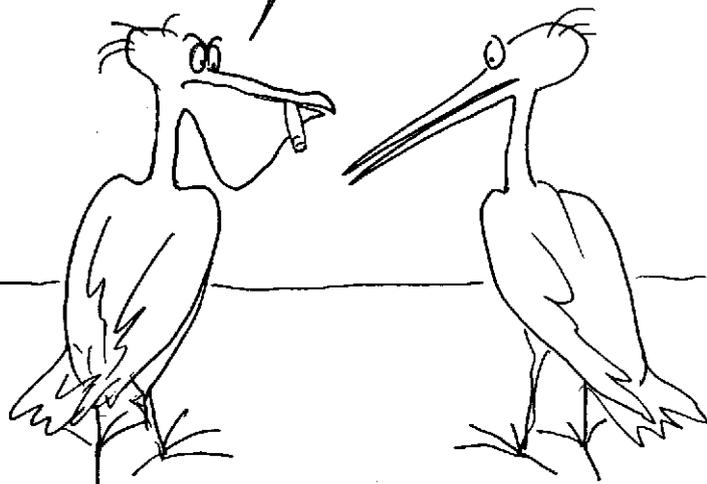


Sofia nos ha dicho que fue así como Lucrecio, en el siglo I después de Cristo (en su obra *De rerum naturae*) intuyó la existencia de los ÁTOMOS

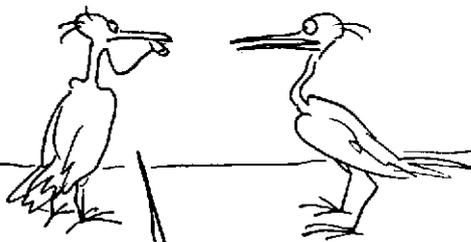


¡Sofia siempre sabe todo mejor que todos!

Así que, mi querido amigo, al parecer los quesos "camembért" son fluidos muy viscosos. Y parece que hasta el mismo vidrio... (\*)

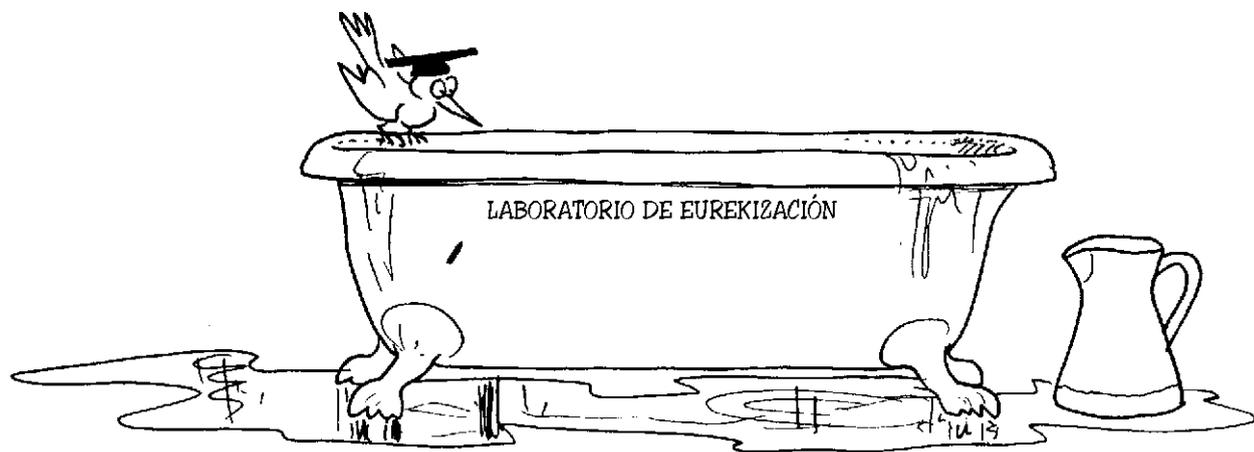


Acaso quieres decir que... el principio de Arquímedes...



¡No me hagas decir cosas que no he dicho!

(\*) En efecto, el vidrio es un LÍQUIDO extremadamente viscoso.





Ya ves, Anselmo, que para entender bien un fluido es necesario tener presente que se trata de un conjunto de moléculas que, como pequeñas pelotitas, rebotan y se deslizan unas sobre las otras en lo que se denomina **CAOS MOLECULAR**

¡Listo para el caos!

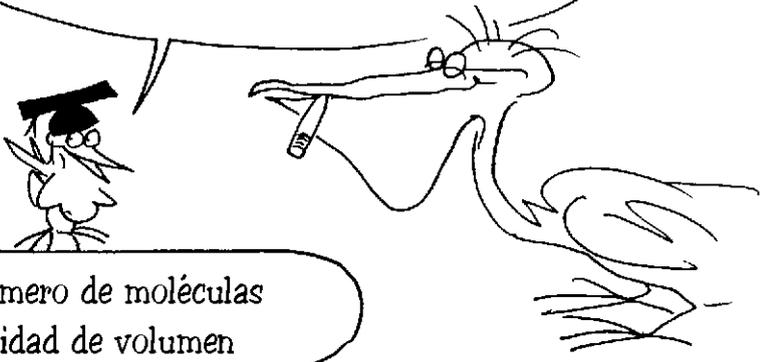


Hay cerca de veinte mil millones de millones de estas pelotitas en un centímetro cúbico del aire que respiramos. Estas moléculas son tan pequeñas que no podríamos ni siquiera verlas con el más potente de los microscopios

# DENSIDAD



El concepto de densidad es tan intuitivo que mejor no hablemos sobre él



¡Yo no lo entiendo!

Es el número de moléculas por unidad de volumen

# PRESIÓN



Este panel está en perfecto equilibrio. Volveré más tarde para fijarlo



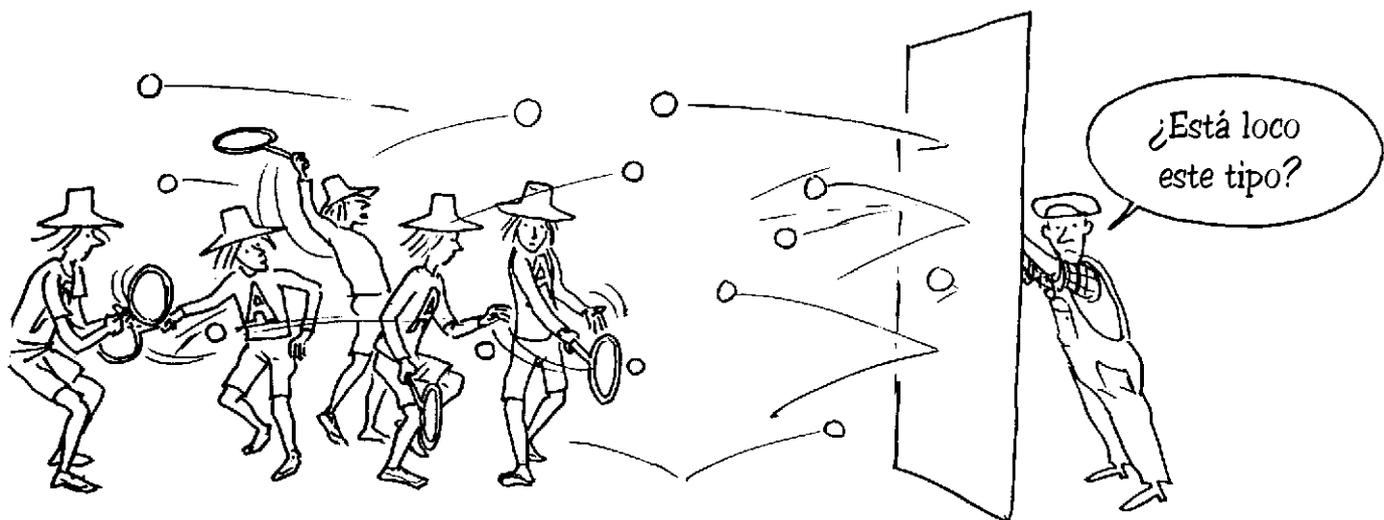
Entre tú y yo un diamante es para siempre...  
♪



¿Y aquí qué hay para aprender?



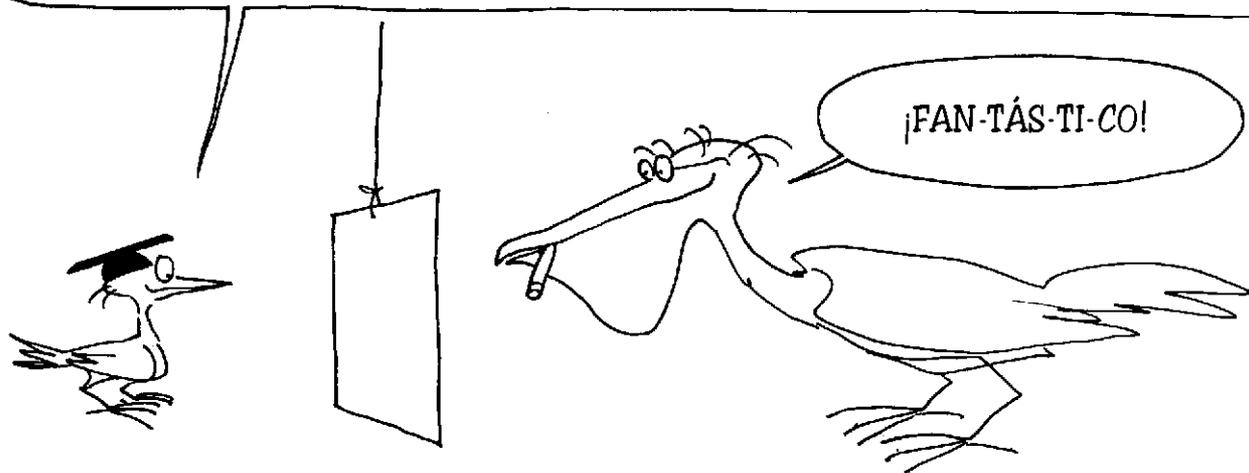
¡Espera... con calma!



Son los innumerables choques moleculares que se producen contra la pared los que crean el fenómeno que denominamos PRESIÓN.

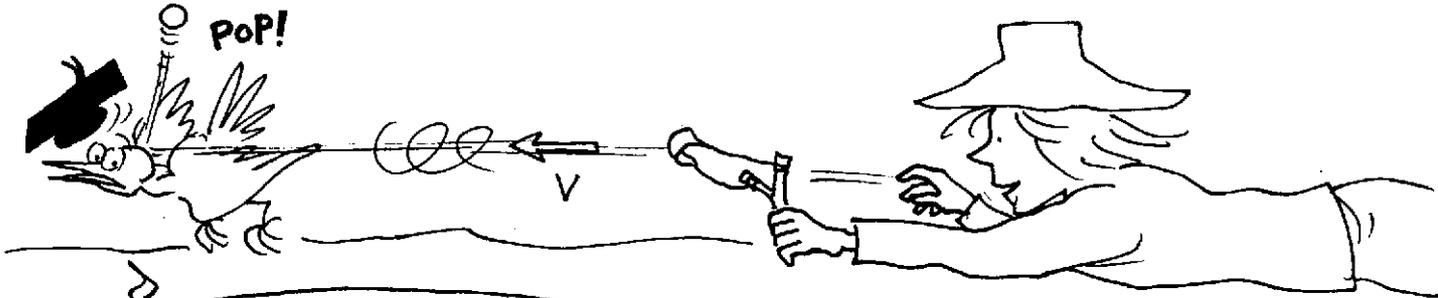
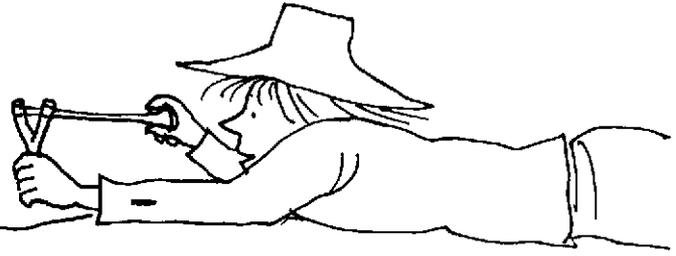


Permanece inmóvil porque los choques que ejercen las moléculas cuando colisionan de lado y lado se equilibran



# ENERGÍA CINÉTICA

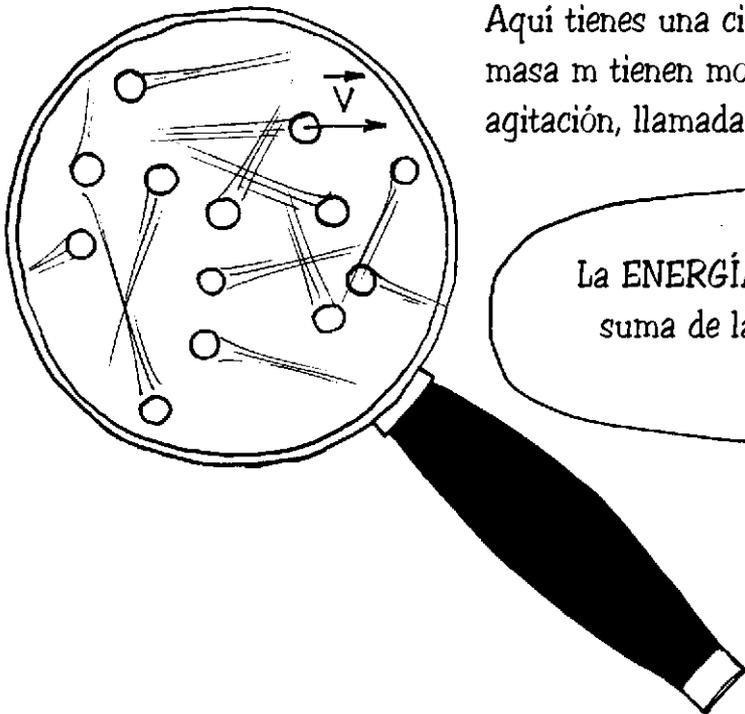
Un objeto de masa  $m$  que se mueve con velocidad  $V$ ...



... tiene, por definición, una **ENERGÍA CINÉTICA** igual a  $\frac{1}{2}mV^2$

# ENERGÍA TÉRMICA

Aquí tienes una cierta cantidad de gas. Sus moléculas de masa  $m$  tienen movimientos desordenados. Su velocidad de agitación, llamada velocidad de agitación **TÉRMICA**, es  $V$ .



La **ENERGÍA TÉRMICA** del sistema es simplemente la suma de las energías cinéticas  $\frac{1}{2}mV^2$  de todas las moléculas que lo componen

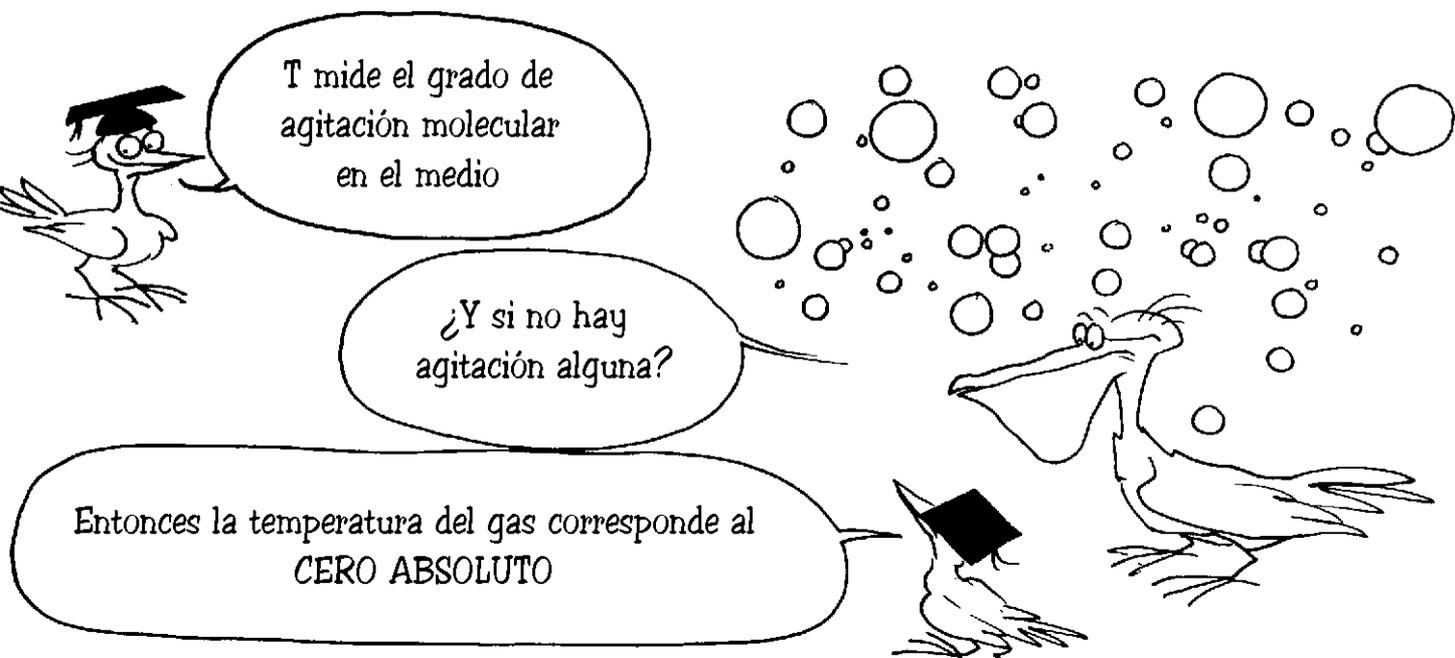


# TEMPERATURA



La **TEMPERATURA ABSOLUTA** de un gas es la medida de la energía cinética de agitación  $\frac{1}{2}mV^2$  de UNA MOLÉCULA del gas.

*La Dirección*



No se puede estar por debajo del cero absoluto pues no se puede estar menos agitado que cuando se está inmóvil, ¿no es así?

¡Sin agitación molecular no hay colisiones sobre las paredes, y por lo tanto no hay presión!

¡Parece que lo entendí!



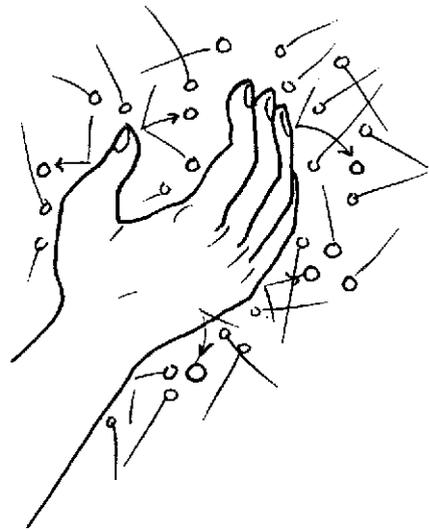
Resumamos: a mayor número de moléculas, más agitadas estarán, por lo tanto calientes, y mayor será la presión del gas



# CALOR

Un objeto inmerso en un fluido está sometido a una infinidad de microchoques moleculares a través de los cuales las moléculas pueden transmitir e intercambiar energía, CALOR. La capacidad para transmitir el calor aumenta con la densidad del fluido.

Por esta razón, el agua es un mejor conductor del calor que el aire.





Cuando un astronauta "camina" en el espacio, lo hace a través de un aire muy enrarecido (diez moléculas por centímetro cúbico). El grado de agitación de las moléculas corresponde a una temperatura de  $2.500^{\circ}$ . Pero este aire no logra quemar al astronauta debido a que es muy poco denso para comunicar de manera eficaz su calor.

¡Brrr...  $2.500^{\circ}$  y me congelo!

La temperatura es alta pero el flujo de calor es infimo.

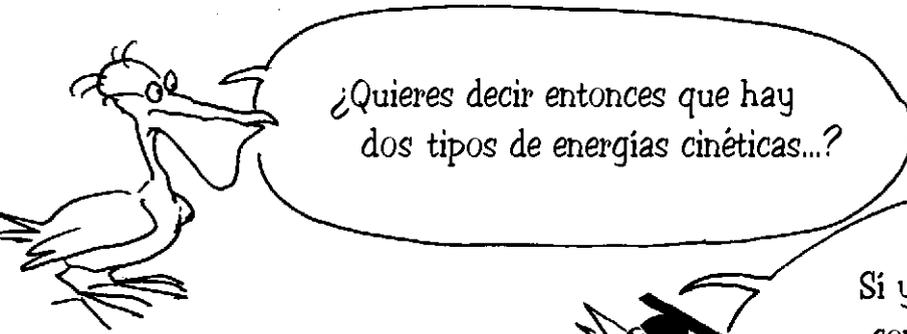
# ENERGÍA DE ENSAMBLE



He aquí un ensamble, un SISTEMA de  $N$  moléculas a una temperatura absoluta  $T$

Anselmo lanza la botella de gas comunicándole una VELOCIDAD DE ENSAMBLE  $v$

A esta velocidad de ensamble  $v$  le corresponde una **ENERGÍA CINÉTICA DE ENSAMBLE**  $\frac{1}{2}Mv^2$ , siendo M la masa total del gas contenido en la botella.



¿Quieres decir entonces que hay dos tipos de energías cinéticas...?

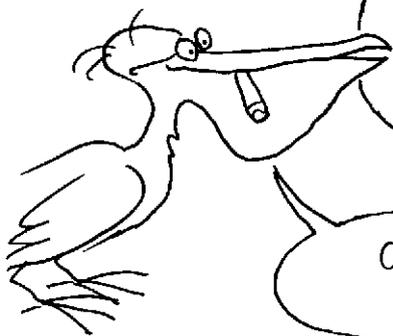


Sí y no... El sistema de moléculas contenido en la botella tiene una **ENERGÍA TOTAL** que es la suma de dicha **ENERGÍA DE ENSAMBLE** y de la energía de agitación térmica



¡Vaya si es complicada la tal mecánica de fluidos!

¿No querías volar?  
¡Pues entonces tienes que aprender a volar!



Bien... este libro dice que, en un sistema de moléculas, se puede transformar la energía de agitación térmica en energía de ensamble

O, en otras palabras, transformar **CALOR** en **MOVIMIENTO**

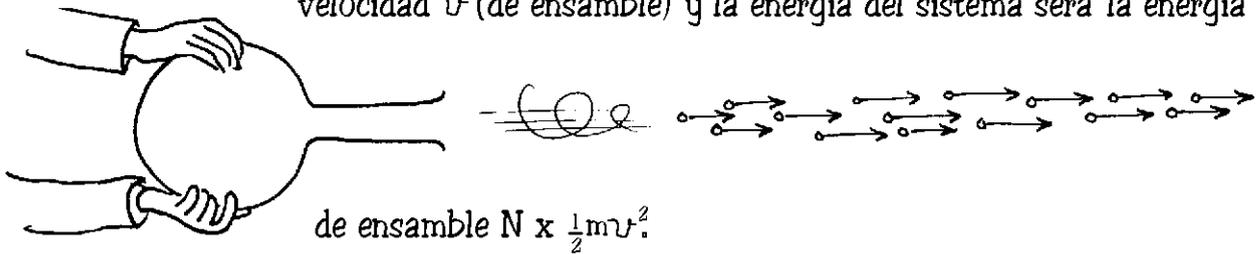




# CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA



Si esta transformación CALOR → MOVIMIENTO es total, las moléculas tendrán todas la misma velocidad  $v$  (de ensamble) y la energía del sistema será la energía



Según el PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA, la energía total del sistema, es decir la suma de la energía de ensamble y de la energía cinética de agitación (térmica), es **CONSTANTE** durante el proceso.

*La Dirección*

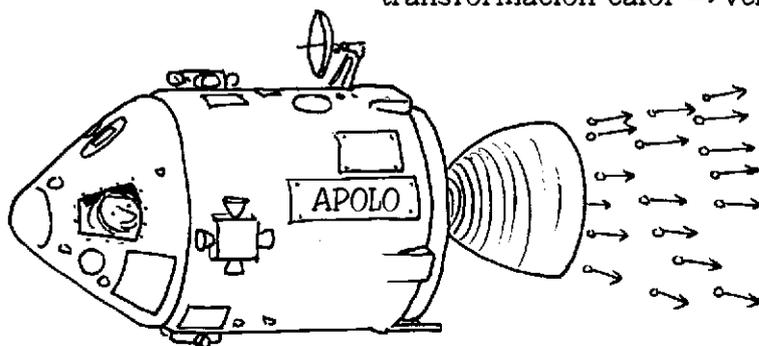
Vamos a ver si entendí bien: en este caso particular de expansión total, la conservación de la energía da  $N \times \frac{1}{2} m V^2 = N \times \frac{1}{2} m v^2$ , es decir  $V = v$ . ¿Es así?

¡Correcto!

Aplicación de esta transformación de energía térmica en energía cinética de ensamble :

# PROPULSIÓN POR REACCIÓN

El "tubo de escape" de los motores de fusión posee una geometría que permite una mejor transformación calor → velocidad. La fuerza propulsora resulta del hecho que, durante la expansión, la suma de las fuerzas de presión sobre el revestimiento ya



¡Comprendido!

Para volar, aparentemente debería ser suficiente con empujar el aire hacia abajo



Probemos así



No me parece muy eficaz...

¡Observa, Anselmo... las alas de los pájaros no tienen la forma de un paraguas!  
Siempre quieres comprenderlo todo rápido.  
Tienes que estudiar más...



Mmm...

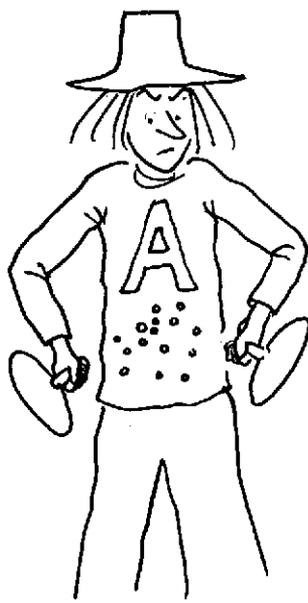
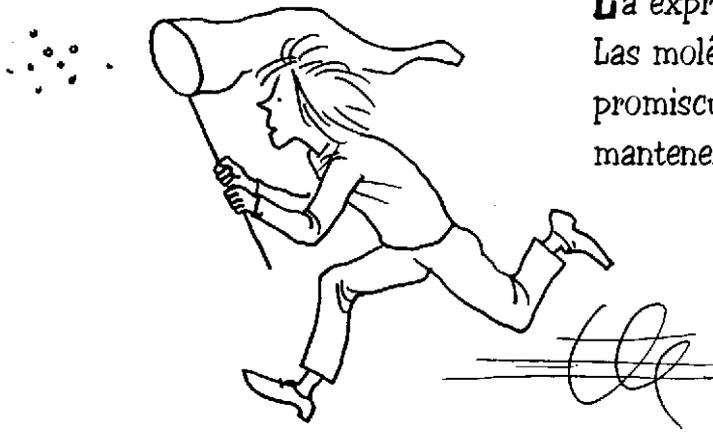
Tienes razón, Sofia

¡Sabe mucho esta chica!

¡Tú tampoco estás tan mal!

# FLUJO CON DENSIDAD CONSTANTE

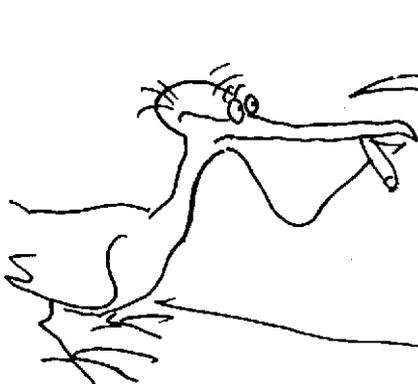
La expresión "libre como el aire" no es casual. Las moléculas de un gas no soportan la promiscuidad, por lo que buscan a toda costa mantener la mayor distancia posible entre ellas.



Así no logro aumentar la densidad del aire

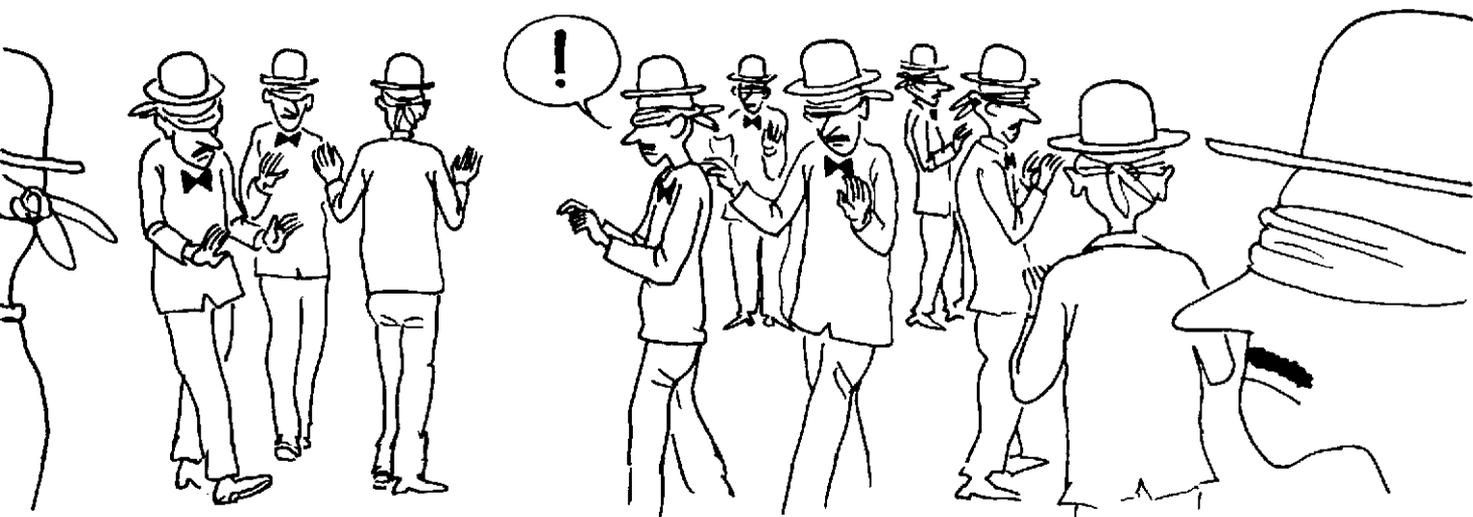
¡Torpe! ¡No eres lo suficientemente rápido!  
¡Te vi antes de tiempo!

¿Qué es lo que hace huir a las moléculas en el momento en que las raquetas se acercan?



¿Será el culillo?

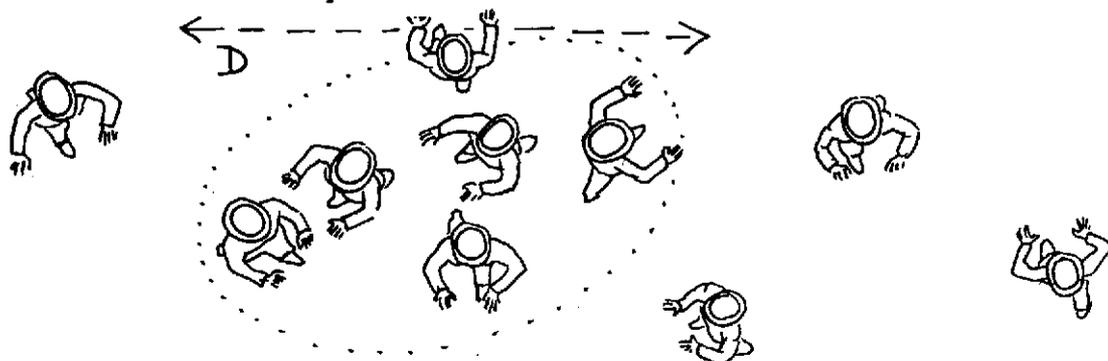
Imaginemos un lugar en el que se mueven personas con los ojos bendados. Ellas juegan el papel de moléculas y la velocidad a la cual se desplazan al azar en todas las direcciones, es una imagen de la velocidad de agitación térmica  $V$ .



Estas personas no se dirigen a ninguna parte en particular. Cada  $t$  segundos, en promedio, luego de haber recorrido una distancia  $l$ , chocan entre ellas. Llamamos a  $l$  el CAMINO LIBRE PROMEDIO y a  $t$  el TIEMPO DE CAMINO LIBRE PROMEDIO.

En el aire que respiramos,  $V$ , la velocidad de agitación térmica, tiene un valor cercano a  $340$  m/s. El camino libre promedio molecular es aproximadamente de un cienmilésimo de centímetro, mientras que el tiempo que transcurre entre dos colisiones de una molécula con sus moléculas vecinas es sólo de un diezmilésimo de millonésimo de segundo.

Nada incita a estas personas bendadas a agruparse, por el contrario su incesante movimiento de agitación puede provocar que toda agrupación de diámetro  $D$  se disperse en un tiempo  $D/V$ .



En efecto, este es el tiempo que toman estas personas para recorrer la distancia  $D$ , por lo tanto para abandonar el lugar de la reunión.



Estas personas, además mudas para completar, no ven más allá de la punta de sus dedos. Si en la multitud llega a penetrar un objeto con una velocidad  $v$  menor que la velocidad de agitación  $V$ , podrán estar informadas sobre ello chocando gradualmente y apartándose ANTES de que el objeto las golpee. La información viaja la velocidad de su marcha, es decir a la velocidad de agitación  $V$ .

# EL SONIDO

es la propagación, a DENSIDAD CONSTANTE, de un impulso de presión. Es una especie de onda de choque que se propaga a la velocidad  $V$ .

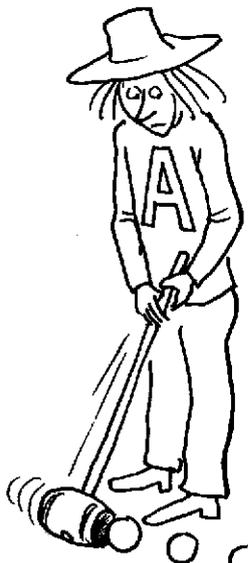


Es necesario tener bien claro que el sonido es la propagación de un impulso y no la propagación de materia

El sonido es una ONDA de PRESIÓN

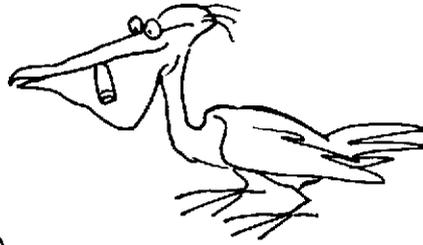
Es a la velocidad del SONIDO que las moléculas son advertidas sobre el más mínimo desplazamiento de las raquetas de Anselmo. Pueden así escapar fácilmente, manteniendo su DENSIDAD CONSTANTE.





**A**nselmo ha alineado unas bolas de cróquet. El impulso que comunica a la primera, ésta se lo transmite a la segunda, ésta a la tercera, y así sucesivamente. Se trata de una imagen lineal de la propagación del SONIDO.

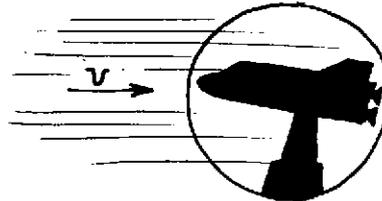
propagación  
del impulso



La noción de velocidad es **RELATIVA**. Así,  $v$  será para nosotros indistintamente la velocidad de un objeto que penetra dentro de un fluido en reposo:



o la velocidad de ensamble de un gas que llega sobre un objeto **FIJO**:



(túnel  
aerodinámico)

El cociente  $M = v/V$  se llamará, por definición, **NÚMERO DE MACH**, siendo  $V$  la velocidad del sonido.

Si  $v < V$ , es decir si  $M < 1$ , el fluido tendrá un régimen **SUBSÓNICO**. El flujo se realizará a densidad constante y lo denominaremos "**INCOMPRESIBLE**".

*La Dirección*

# LEY DE BERNOULLI

Hay un mal olor por aquí...

¡Es olor a topo!  
¿A qué querías acaso que oliera?

Umm... veamos, veamos...  
Daniel Bernoulli: físico suizo,  
1700-1782...

?

Muy bien,  
así debería funcionar

¡¿Qué diablos está haciendo  
allá arriba?!

Bueno, está listo

¿Listo qué?

Mi sistema de ventilación automática

¡El viento sopla, qué bueno!  
¿Sientes la aspiración?

?!?

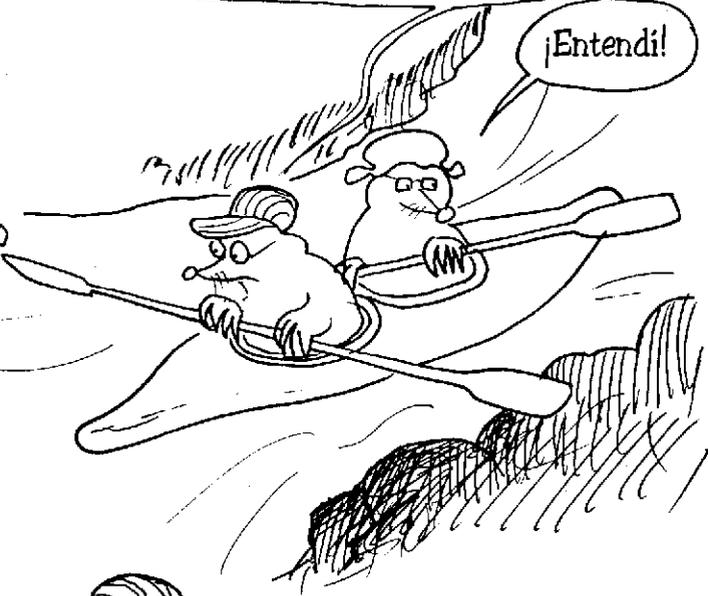
¿Si, pero por qué resulta aspirado el aire de la madriguera?

El túmulo es un obstáculo para el paso del aire. Para superarlo, este debe acelerar

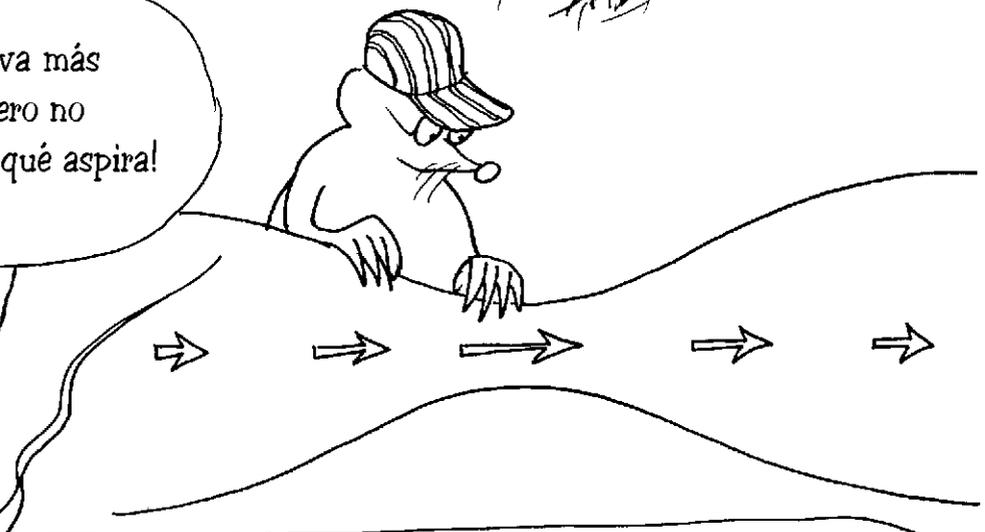
¿Acelerar?  
¿Y por qué?



Como en los rápidos de un río



Para mantener un flujo constante



Toma un elemento de fluido (un paquete de moléculas) que pasa por un estrangulamiento. Su energía permanece constante. La aceleración, por lo tanto, se realiza en detrimento de la energía térmica, por lo tanto del movimiento de agitación



Y si la velocidad de agitación baja, la presión disminuye



Como la presión varía proporcionalmente a la temperatura y a la densidad, entonces disminuye

Y es por esto que el aire de la madriguera resulta aspirado



¿Pero cómo haces tú para saber tanto?

En mi tiempo libre soy ratón de biblioteca

¡Qué curioso, mientras estábamos detenidos la capota del auto estaba distendida y apuntaba hacia el interior. Ahora que estamos en marcha, se ha inflado hacia el exterior!



¡Mira, el aire pasa por encima!



Es lo mismo que sucedía con la madriguera de los topos. ¿A propósito, tu auto de dos caballos de fuerza se le asemeja un poco, no crees?

Entonces el aire debe acelerar para rodear el auto a una densidad constante. La temperatura desciende, disminuye la presión y la capota resulta aspirada.  
Comprendido



Se trata del mismo fenómeno que hace salir  
el perfume de mi vaporizador

... Y que aspira el humo en las chimeneas,  
gracias al viento

¿De cuándo acá las  
chimeneas hablan?

Qué extraño, yo más bien  
habría creído que el aire  
tenía que depositarse en  
este embudo

Según la

## LEY DE BERNOULLI :

presión y velocidad son inversamente proporcionales.

*La Dirección*



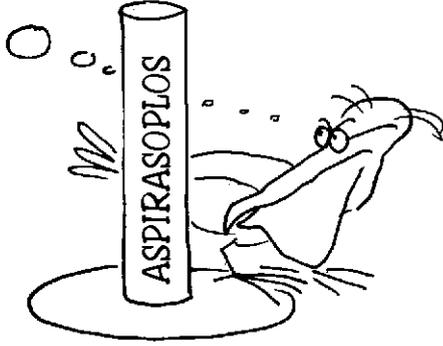
A decir la verdad, la mecánica de fluidos constituye a menudo  
un desafío a nuestra intuición y a nuestro sentido común

Ejemplo de

# PARADOJA

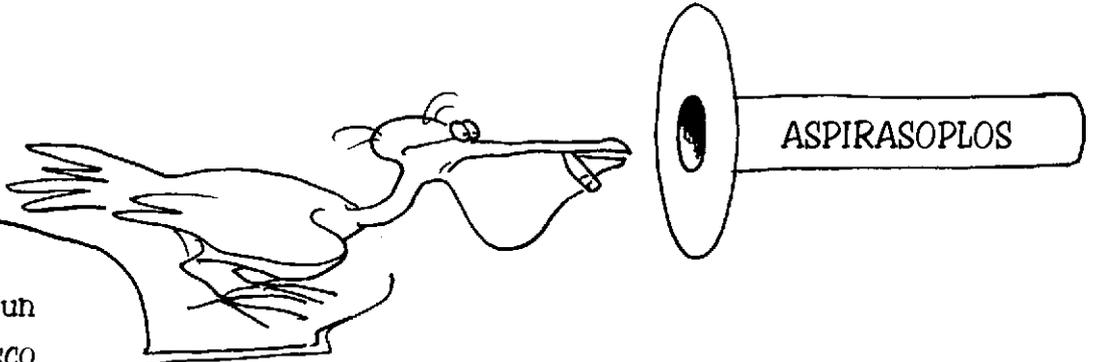
relacionada con la Ley de Bernoulli :

¿Pero de qué intuición habla?  
En fin...

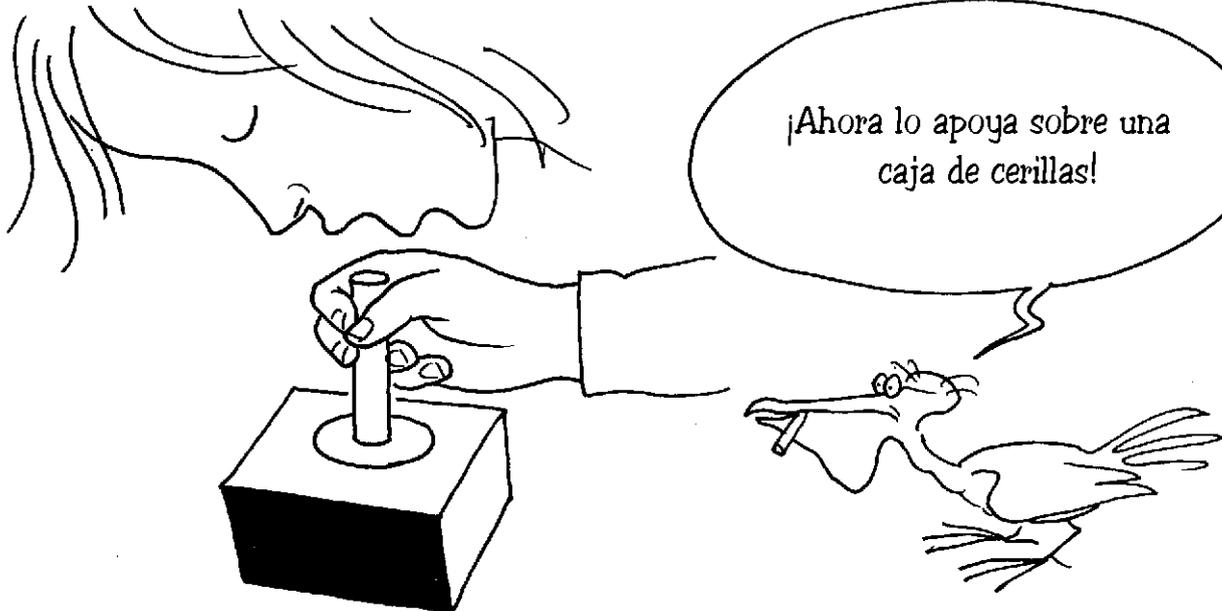


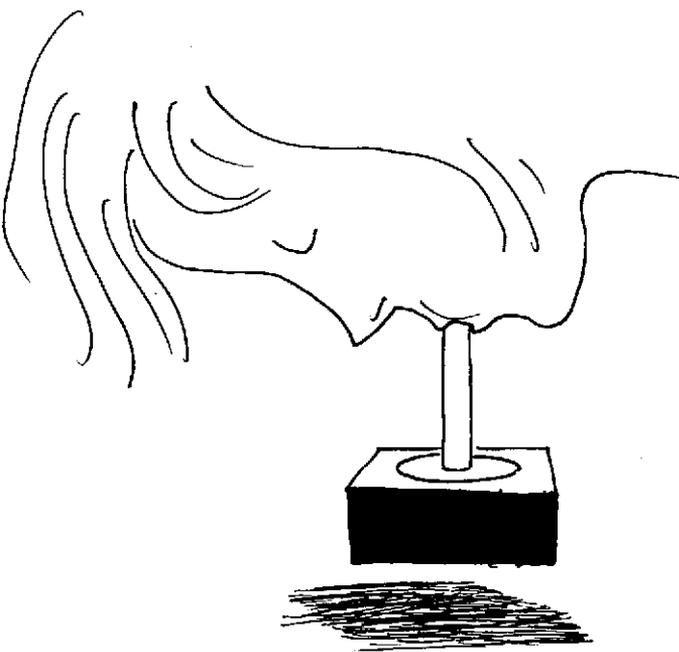
¿Y esto que será?  
¿Otro de esos trucos?

Parece simplemente un tubo unido a un disco

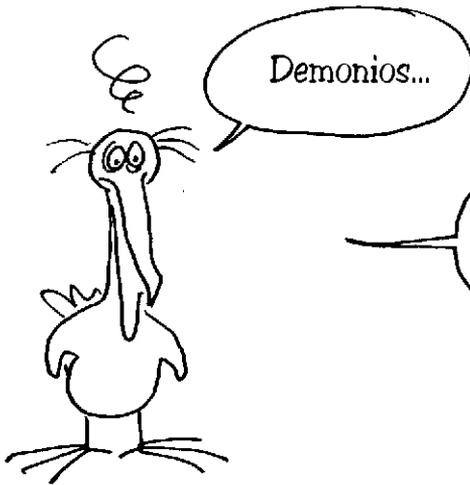


¡Ahora lo apoya sobre una caja de cerillas!



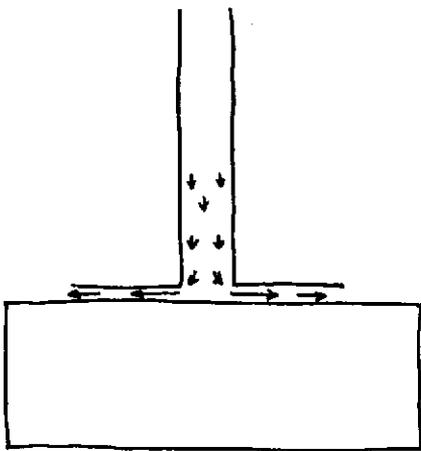


Sopla en su interior... ¡y hace que la caja se eleve!!!

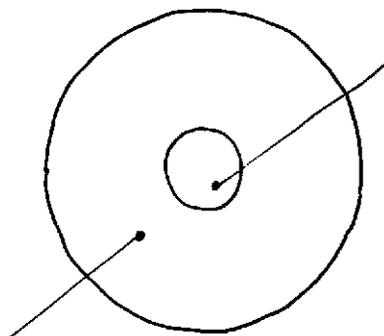


¿Cómo es posible aspirar soplando?

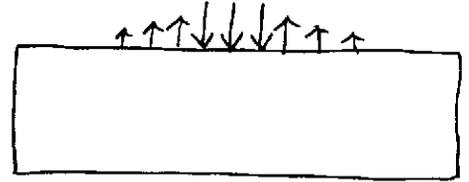
**E**n la unión entre cilindro y disco, la sección de paso del gas disminuye bruscamente y el aire es violentamente acelerado. La presión se vuelve inferior a la presión atmosférica.



La parte periférica, con respecto a la presión atmosférica, se halla en depresión.

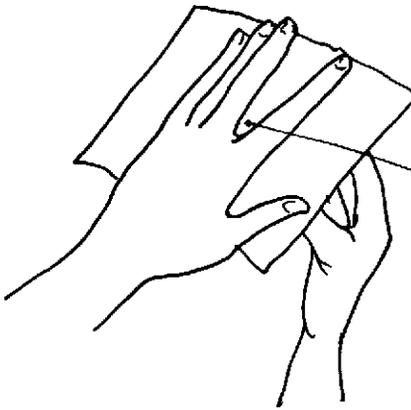


La porción de pared de la caja que se encuentra frente al canal central se encuentra, con respecto a la presión ambiental, en sobrepresión.



El resultado de todo eso es una succión

Pueden realizar un experimento análogo utilizando una simple hoja de papel:



Sujétenla de esta forma

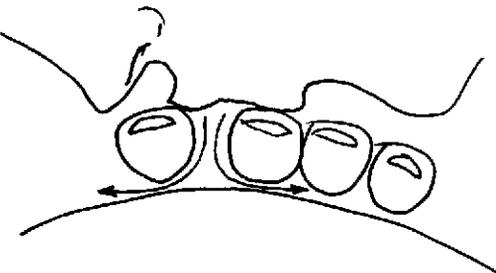
Soplen aquí, muy fuerte.



Apenas comiencen a soplar, suelten la hoja. Verán que permanece pegada aún durante algunos instantes.

**Nota bene:**

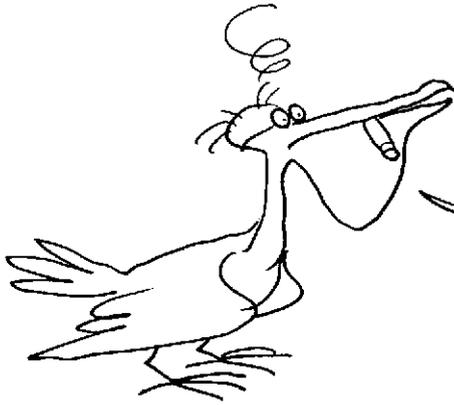
¡Hay que soplar FUERTE!



*La Dirección*



¿Hacemos un pequeño vuelo?



¡Jah!  
¡Con todo lo que he visto hoy,  
prefiero ir a pie!

Fluido, densidad, presión, temperatura,  
reacción, Bernoulli.  
Tengo todas las palabras claves para  
poder volar



No, te falta una

¿Cuál?

?

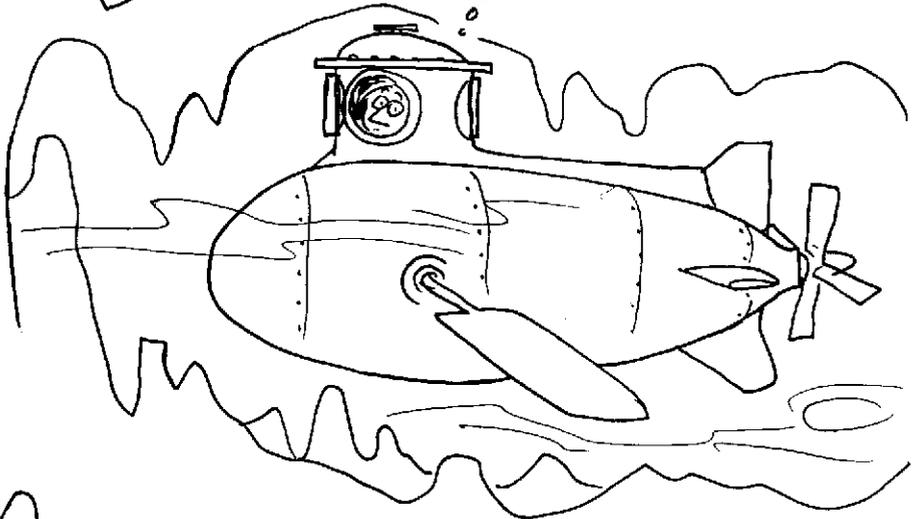
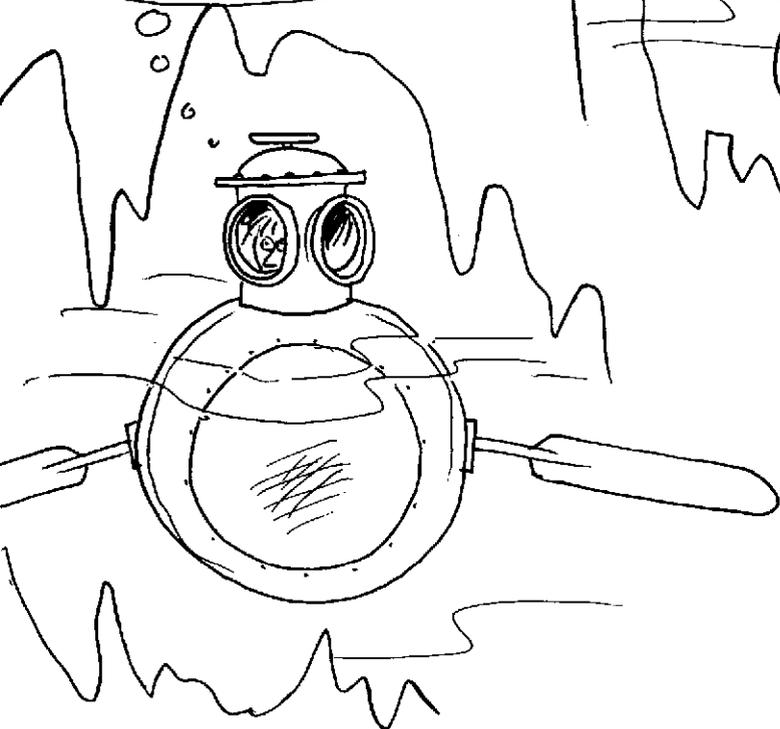
# EL SUEÑO DE ANSELMO



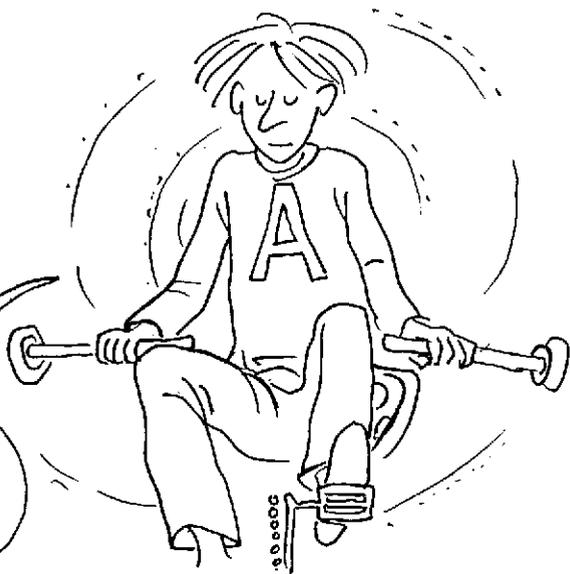
¿En el nombre de un vórtice, dónde estoy?

Al parecer, me encuentro en un sumergible. ¡Qué lugar tan inquietante...!

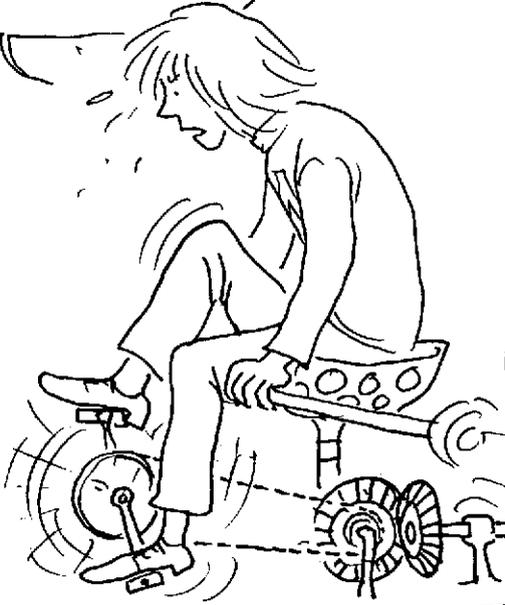
Tengo que salir de aquí lo más rápido posible



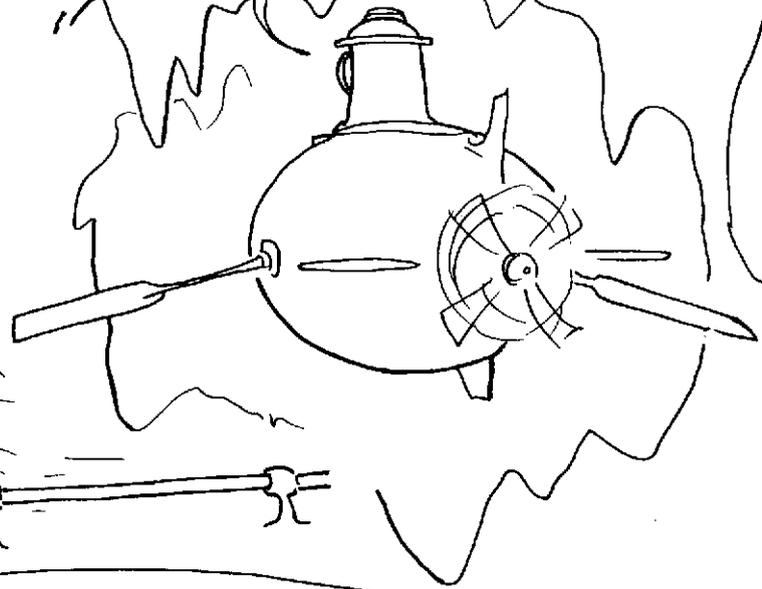
Esta máquina tiene dos modos de propulsión. Los remos y una hélice accionada por pedales



¡Demonios, llevo pedaleando una hora...



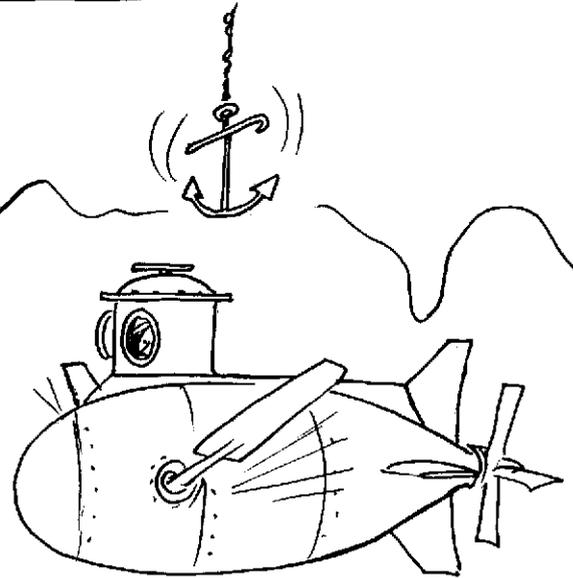
... y no he avanzado un centímetro!



Ensayemos con los remos... No, tampoco así funciona... ¡y además no siento resistencia alguna!

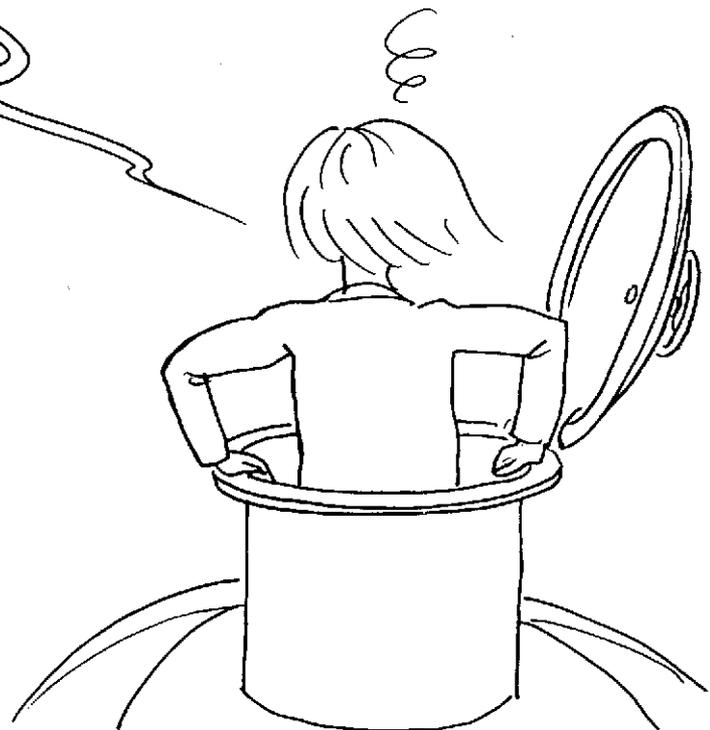


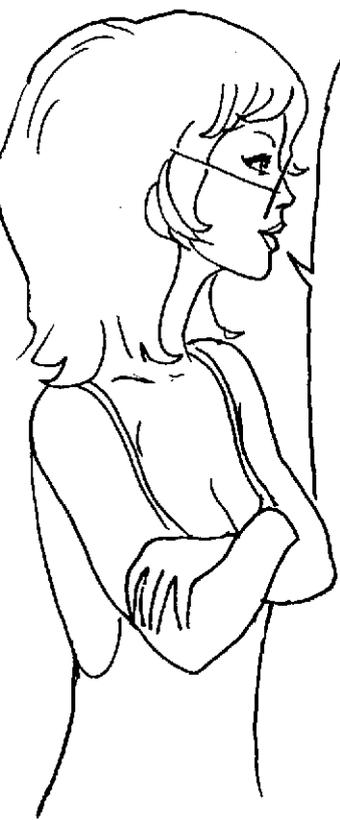
¿Será que estoy en el vacío?  
No puede ser. ¡Si me encontrara en el vacío, mi sumergible no flotaría!





¡Por todos los remolinos del infierno, Sofia, explicame qué quiere decir todo esto!

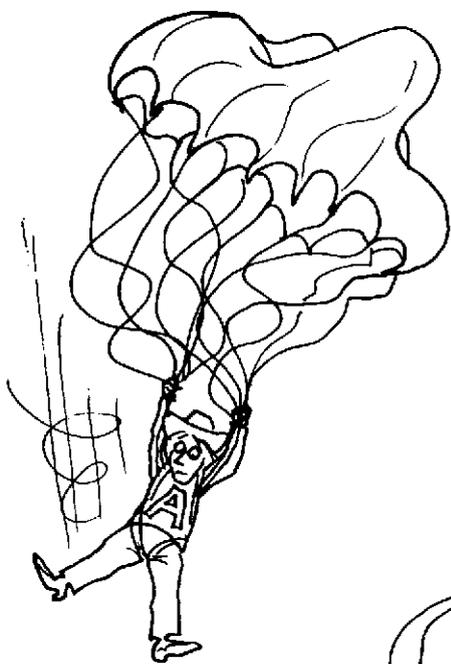




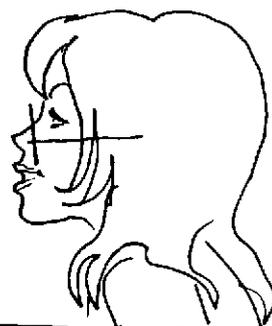
Estabas simplemente inmerso en helio SUPERFLUIDO. Recuerda la historia de la caja con arena, en la que el roce de los granos los unos contra los otros era de tal magnitud que la arena fluía con dificultad. Aquí ocurre lo contrario. Por debajo de una cierta temperatura, bastante baja, la fluidez del helio se vuelve infinita y la fricción se anula



Sí, pero... ¿qué relación hay entre las fricciones y el hecho de remar, de volar, o de propulsarse con la ayuda de una hélice?



No estabas tan equivocado con tu paraguas. Para estar suspendidos en el aire, se requiere hacer presa sobre él



Si el aire fuera SUPERFLUIDO, tu paracaídas no te serviría de nada. ¡Es más, ni siquiera se inflaría y terminarías en caída libre!

**E**l primer animal que intentó una escalada al cielo se dio cuenta muy rápido de que le era necesario tener algún tipo de sostén en la atmósfera.

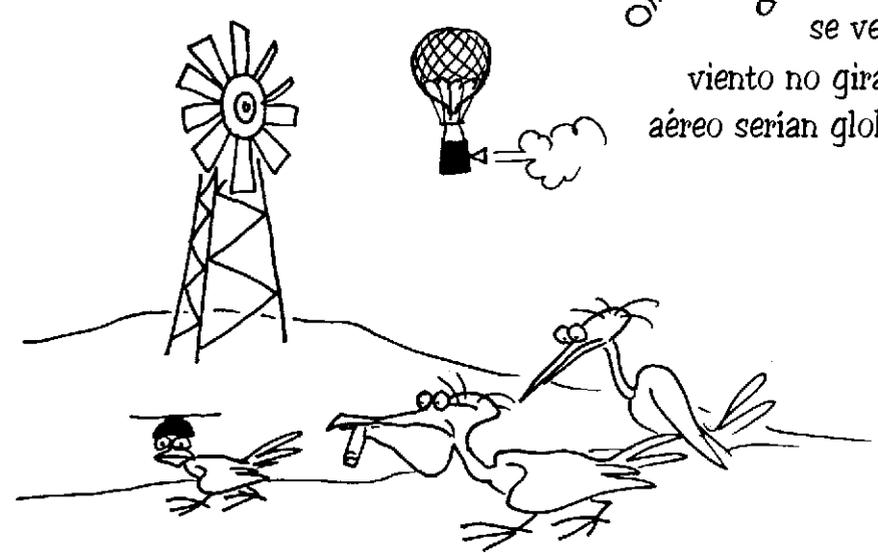
**A**si, el vuelo de un objeto más pesado que el aire se asemeja a una carrera sin fin en la que se intenta apoyarse en un medio que, por el contrario, se escapa continuamente.



**E**s necesario encontrar algún tipo de apoyo en este medio.

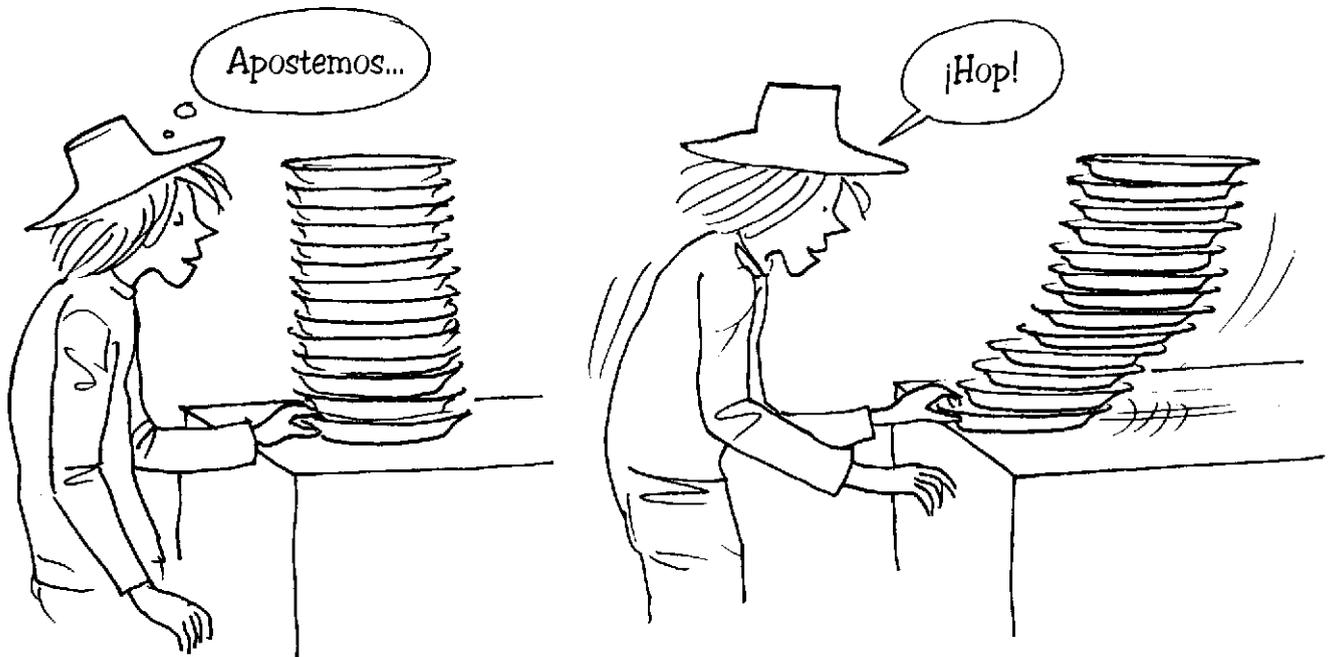


**S**i este fuera SUPERFLUIDO, las moléculas se deslizarían unas sobre otras y sobre los objetos sin **FRICCIÓN** alguna. En ese caso, los pájaros se verían obligados a ir a pie, los molinos de viento no girarían y los únicos medios de transporte aéreo serían globos propulsados por motores de reacción.

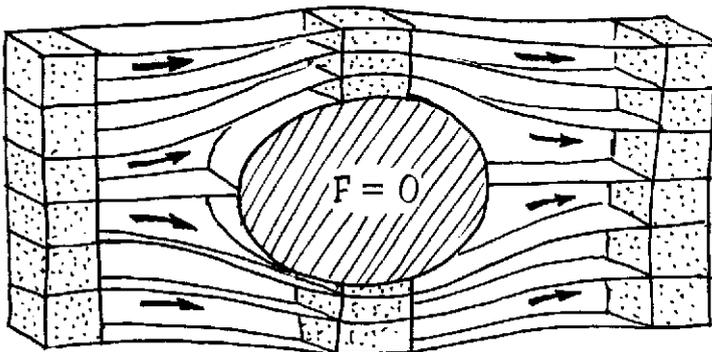


**E**l vuelo está ligado, entonces, a la fricción del medio gaseoso.

# FLUIDOS CON FRICCIÓN

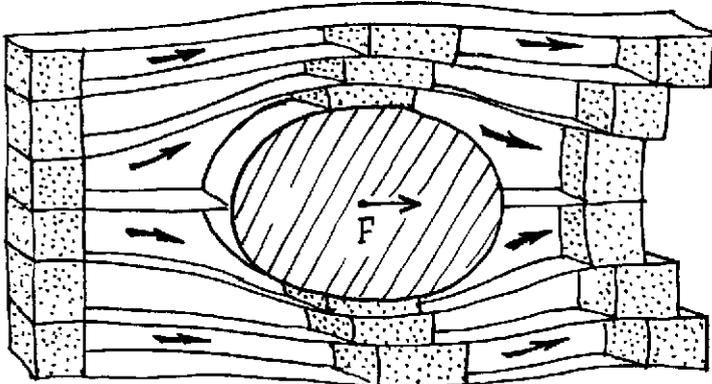


De la misma forma que estos platos, las capas superpuestas de gas se deslizan unas sobre otras con una cierta fricción.

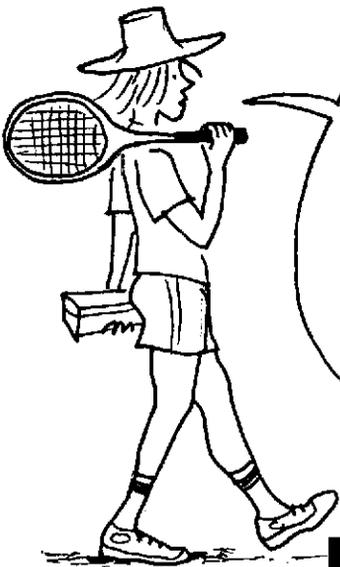


Imaginemos un objeto inmóvil al que llegan moléculas que representamos como si estuvieran dentro de cajas cúbicas.

- En ausencia de fricción, luego de haber rodeado el objeto, las moléculas se encontrarán unas sobre otras como al comienzo.

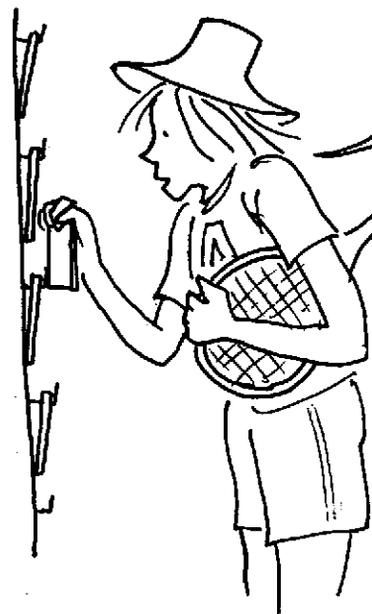


- En presencia de fricción, en cambio, las moléculas cercanas al objeto van a ser frenadas, y llegarán desfasadas al final entre ellas. El objeto frena el gas, y a su vez el gas ejerce una fuerza sobre el objeto, la así llamada RESISTENCIA DE FRICCIÓN.



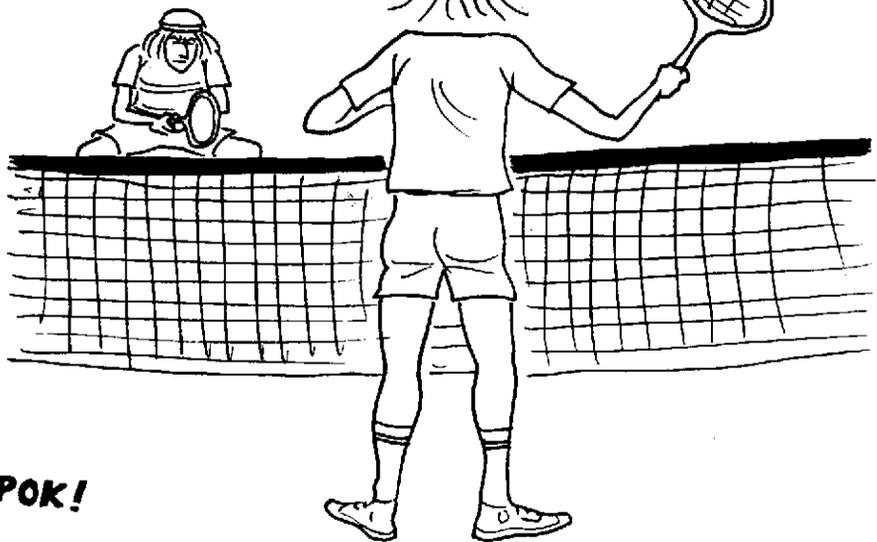
Pues sí, todo eso suena bastante complicado.  
Mejor, para relajarme, voy a jugar un poco de tenis,  
que al menos se basa en los sencillos principios  
mecánicos de la balística:  
¡Un golpe a la bola y listos. Si además calculo bien,  
esta caerá en el campo del adversario!

# LA PELOTA LEVANTADA

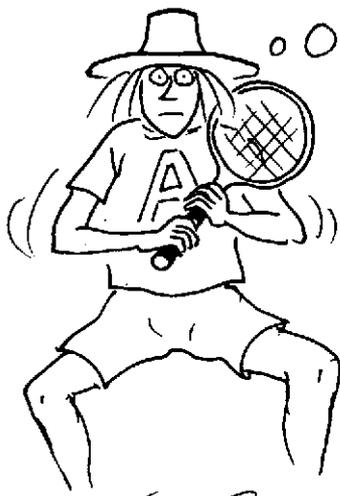


Voy a inscribirme. Veamos, aquí hay un  
cupo. Björn Borg... ¿quién será ese?

¿Ready?



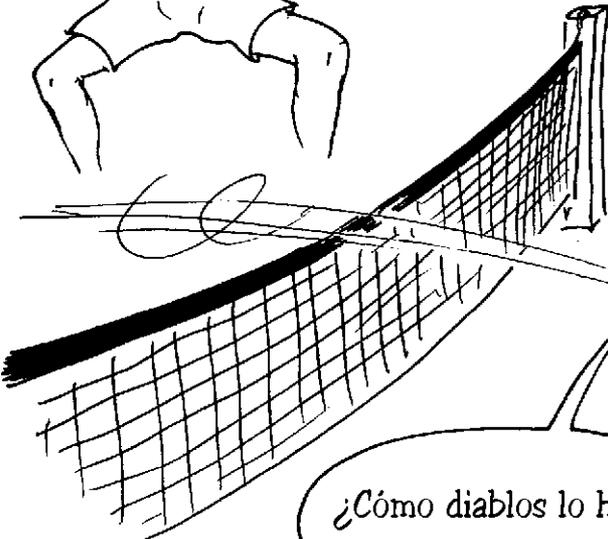
¡ПЛОК!



¡Diablos, no logro contestar ni una! Este tipo tiene una extraña manera de agarrar la raqueta cuando golpea. Parecería que la bola va a venir elevada...

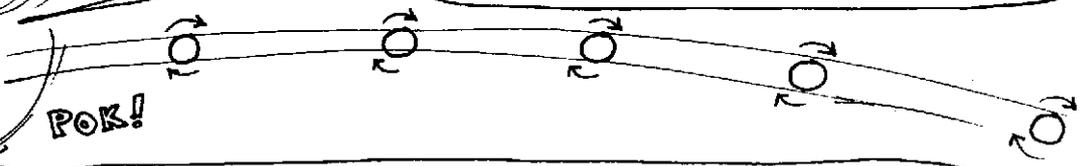


...¡Y en cambio descende!

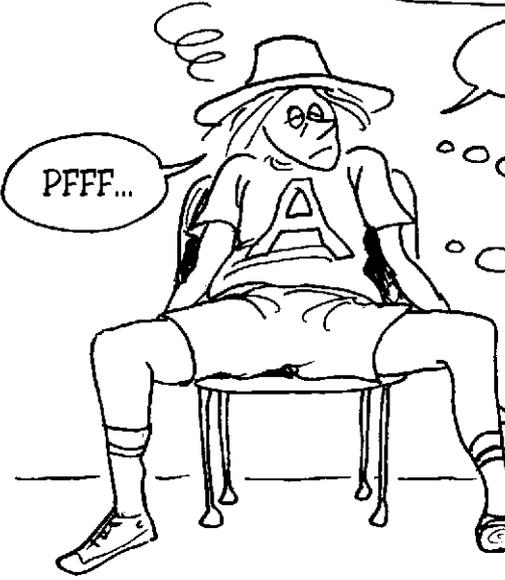


¿Cómo diablos lo hace?

Fácil: hago girar la bola en este sentido



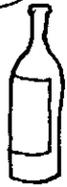
Así tiende a descender. Eso me permite golpear más fuerte, y colocarla dentro del campo



Sí, sí, claro...

¡6-0, 6-0!

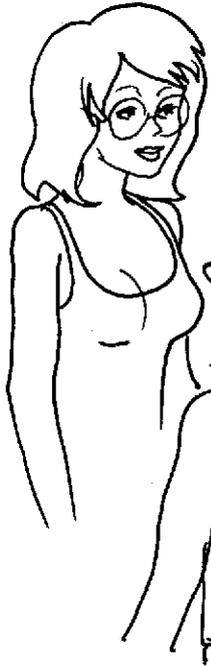
¡Claro como el agua de cañería!



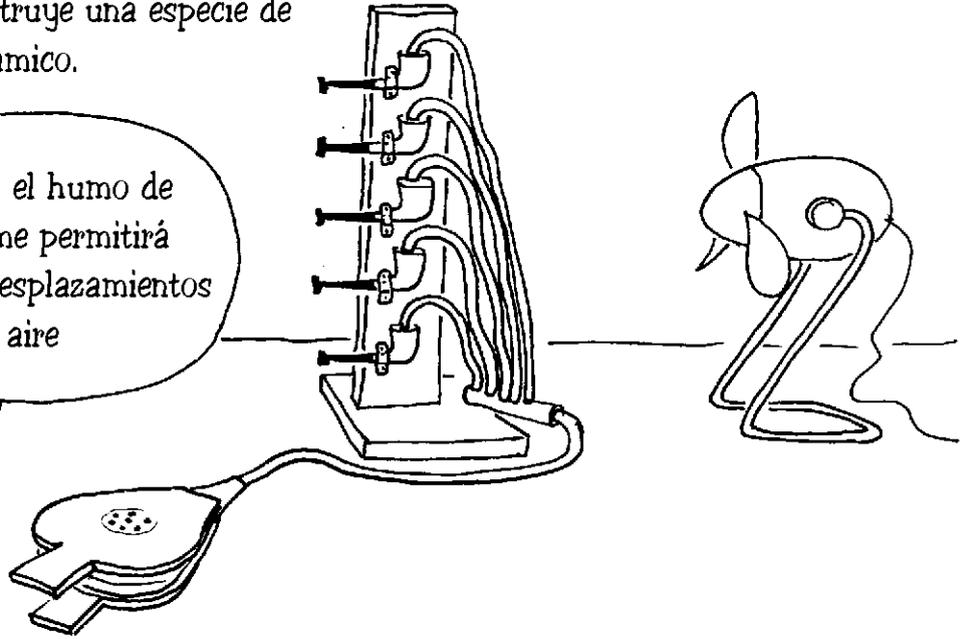


Veamos, en la figura de la página anterior Borg envía la bola de izquierda a derecha. Voy a hacer llegar el aire sobre la bola de derecha a izquierda, el resultado debería ser el mismo

Anselmo construye una especie de túnel aerodinámico.



Mira, Sofia, el humo de las pipas me permitirá captar los desplazamientos del aire



No me queda que hacer girar la bola. Con esto podría funcionar...

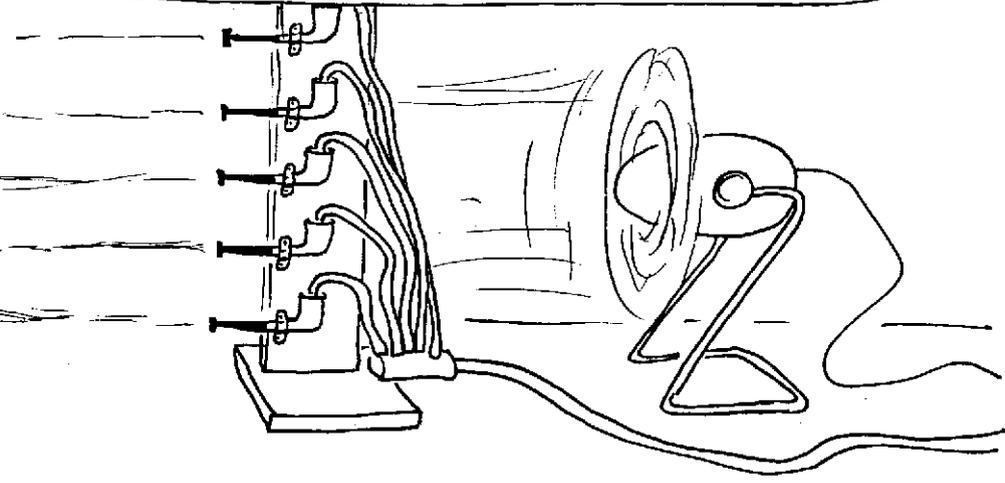


¡Muy bien, funciona de maravilla!

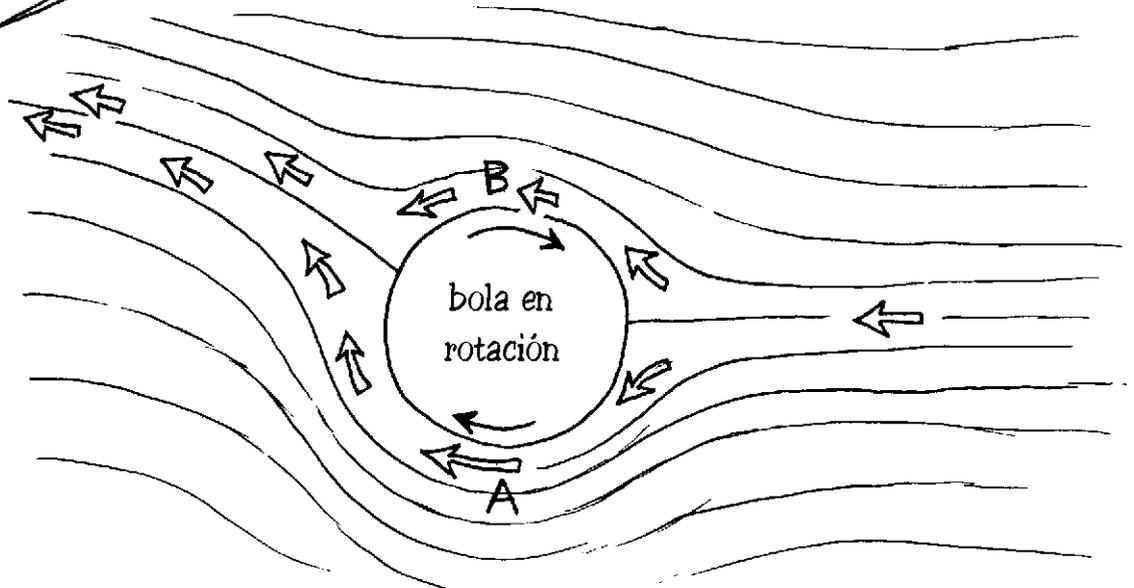




La rotación de la bola proyecta el humo hacia lo alto, y al mismo tiempo percibo una fuerza que hala la bola hacia abajo

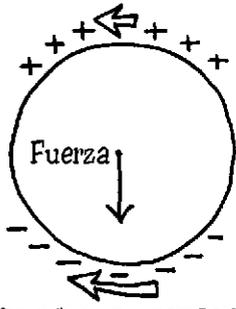


Explicación : gracias a la fricción, la rotación de la bola arrastra el aire, creando así una SUPERVELOCIDAD en A y una SUBVELOCIDAD en B



No nos queda más que aplicar la Ley de Bernoulli

SUBVELOCIDAD · SOBREPRESIÓN



Velocidad del aire

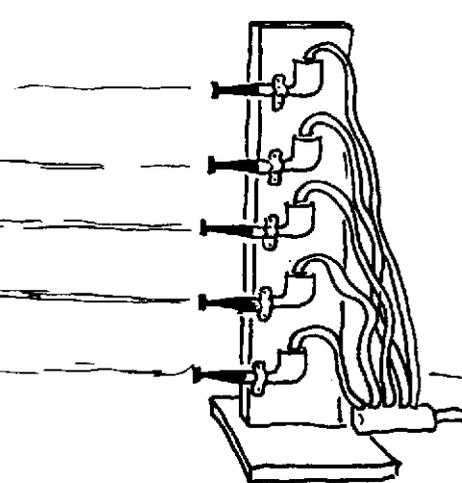
Presión y velocidad varían inversamente. Por lo tanto, por debajo hay una DEPRESIÓN y por encima una SOBREPRESIÓN, de las que resulta el sentido de la fuerza aerodinámica

SUPERVELOCIDAD · DEPRESIÓN



Todo esto es posible sólo a causa de la fricción del aire sobre la bola. En una atmósfera SUPERFLUIDA, exenta de fricción, no podrías realizar el efecto de bola levantada

Invirtiendo el sentido de rotación, el humo es aspirado hacia abajo y la fuerza se invierte. Eso se traduce en una SUSTENTACIÓN

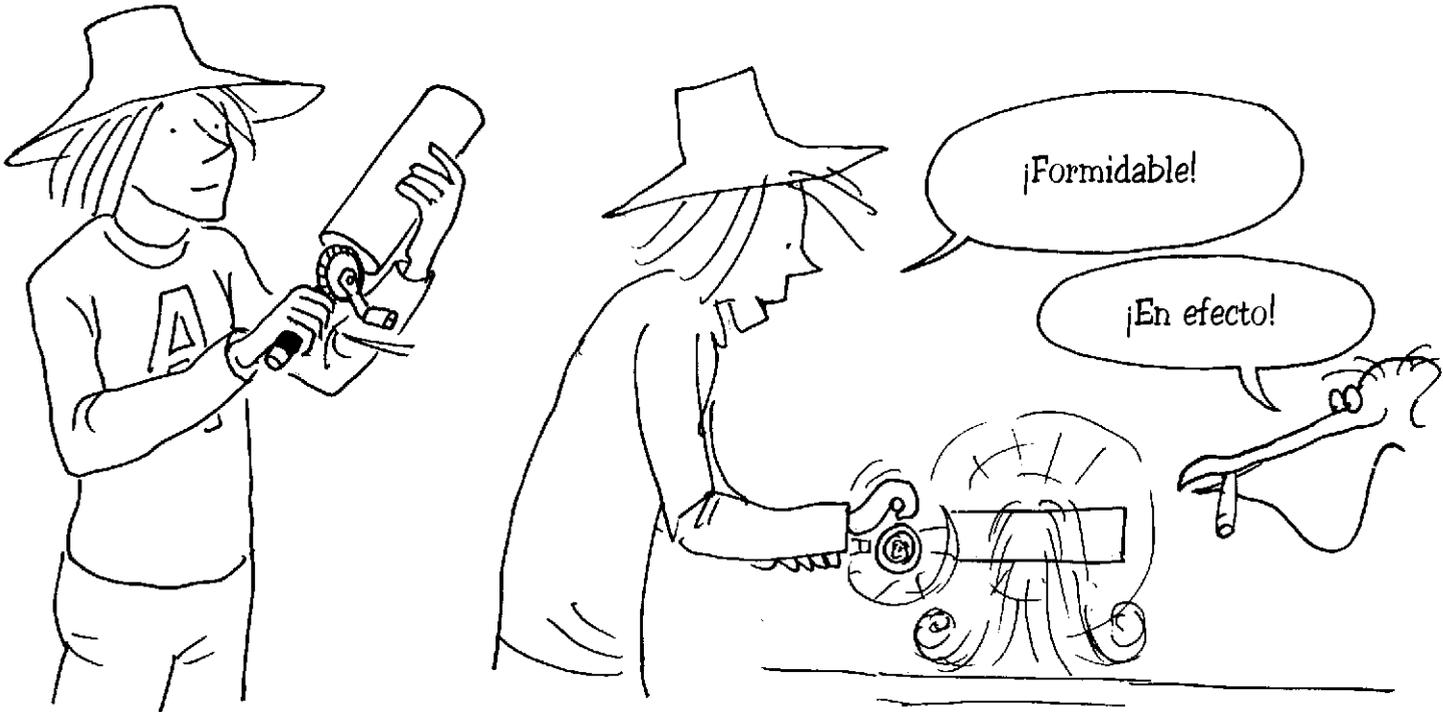


¿Si funciona con una esfera, funcionará también con un cilindro en rotación?

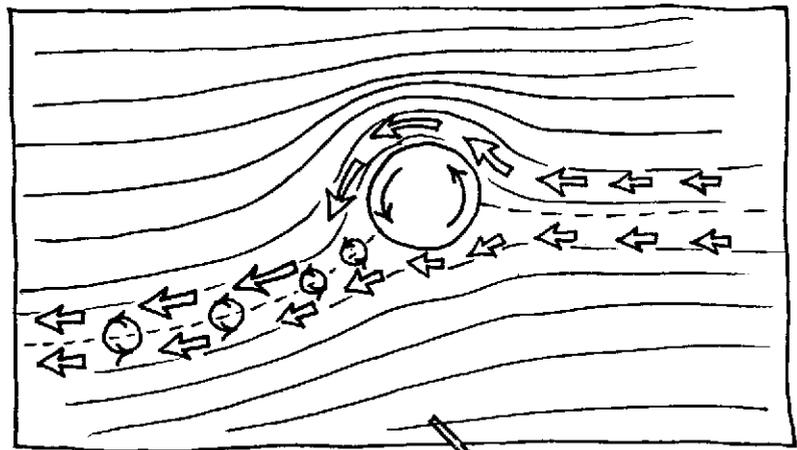


¡Apostemos!

# EL ROTOR DE FLETTNER



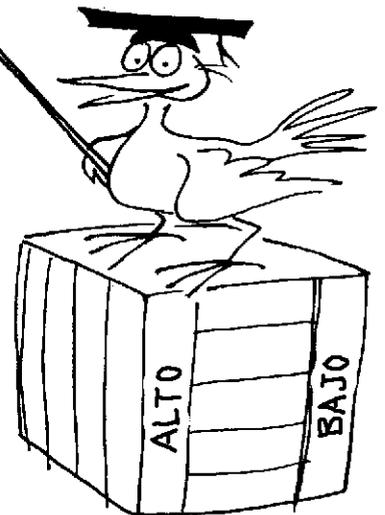
Queridos colegas y amigos, examinemos juntos lo que sucede en la ESTELA. La rotación del cilindro produce velocidades diferentes del flujo en la parte superior y en la parte inferior.



Adelante del cilindro, cuando los dos flujos de aire se reúnen, generan fricción el uno contra el otro, lo cual tiene como efecto:

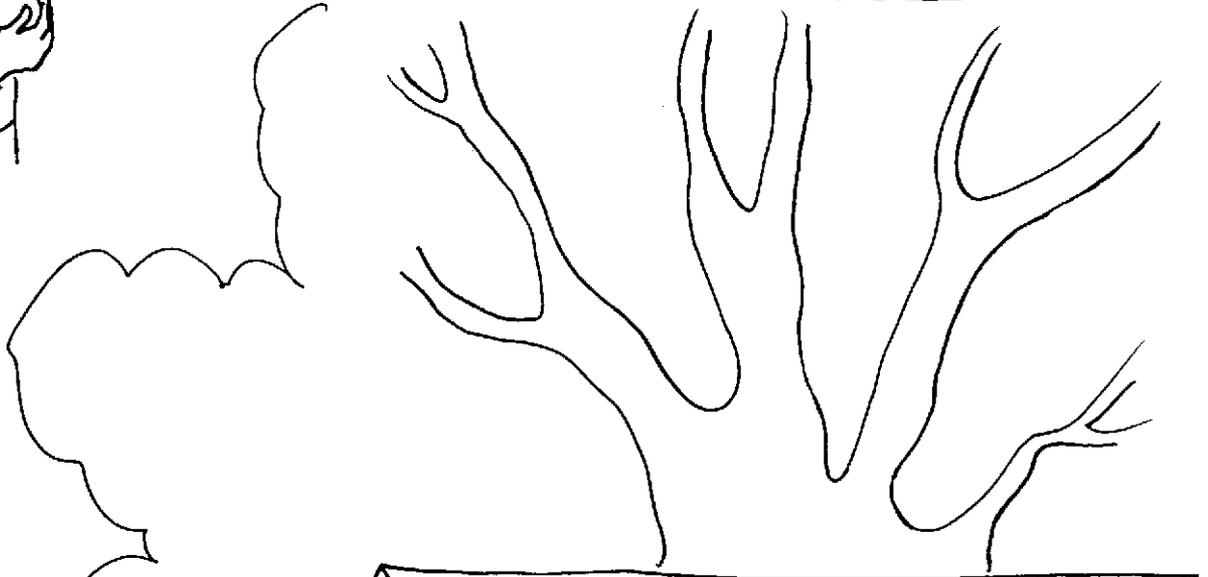
- a) crear microvórtices
- b) suprimir gradualmente la diferencia de velocidades

Entre la parte superior y la parte inferior de la capa de aire existe una diferencia de presión debida a la divergencia de las velocidades (Bernoulli). Esto explica la curvatura de las corrientes de aire adelante del cilindro.





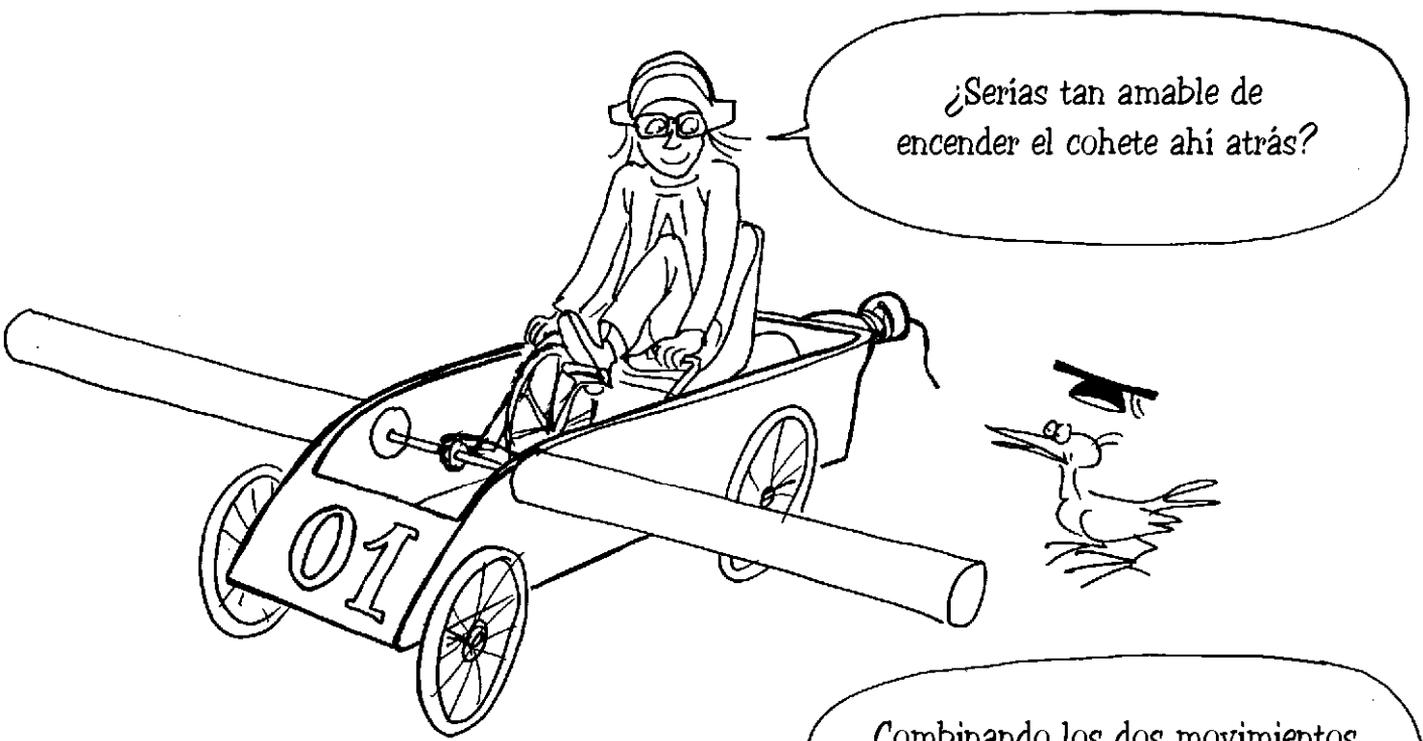
Moviendo en el aire un cilindro en rotación, obtengo una fuerza de SUSTENTACIÓN. Eso me sugiere una idea: ahora si debo ser capaz de construir una máquina para volar



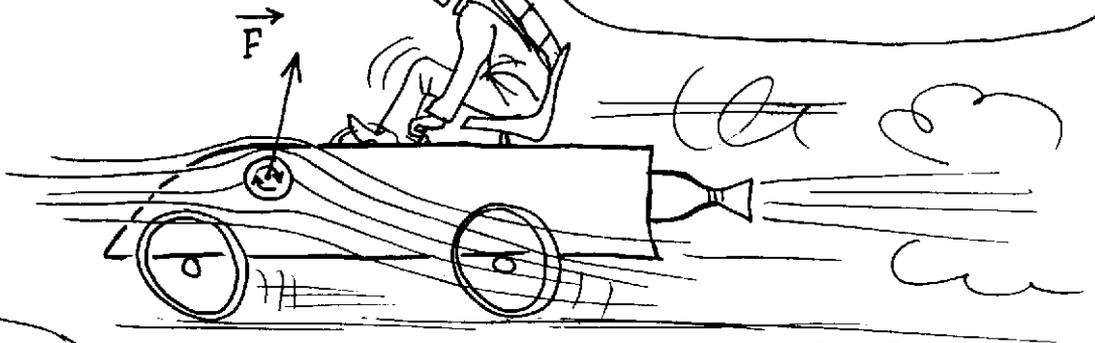
¿Qué estará fabricando?



¡Parece que es algo complicado!



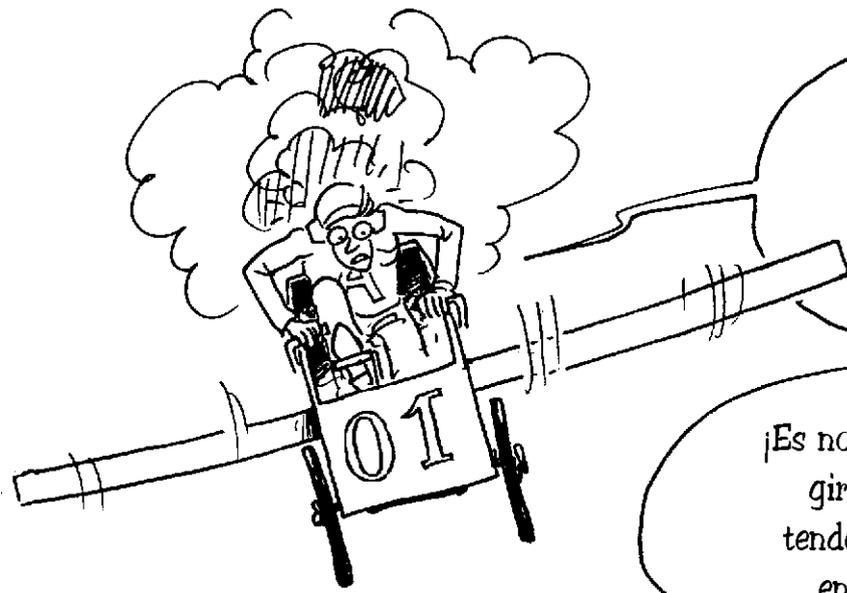
Combinando los dos movimientos  
y soplando el aire hacia abajo,  
creo una fuerza de sustentación



¡Funcionaa!  
¡Estoy volando! (\*)

**¡ESTOY VOLANDO!**

(\*) ¡En efecto, con la potencia adecuada, esta máquina podría volar!

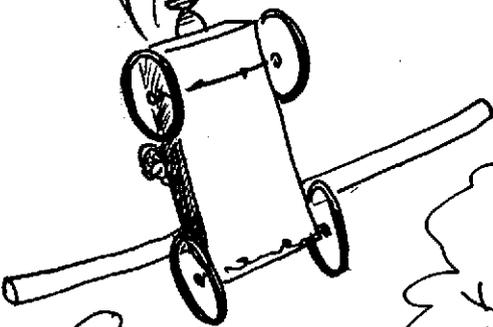


Oh, oh... ¿qué sucede...?!?  
¡¡Mi máquina se va a pique!!

Es el principio de  
**ACCIÓN · REACCIÓN**

¡Es normal! Puesto que haces  
girar el aire, hay una  
tendencia a hacerte girar  
en sentido contrario

¿El principio de  
**QUÉE?**



¡Ay, Anselmo, si me hubieras preguntado!  
Todo sería más fácil si no quisieras hacerlo siempre tú solo.  
¡Ven, el café está listo!



¡Vaya con estos aventureros del saber!

¡Es extraño lo que sucede en una taza de café...!

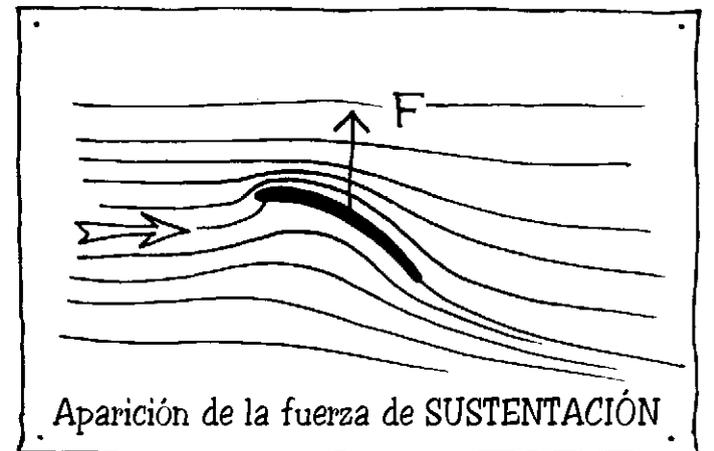
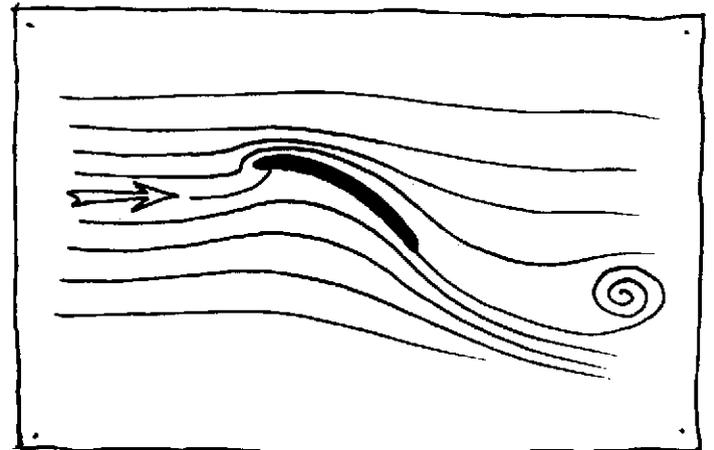
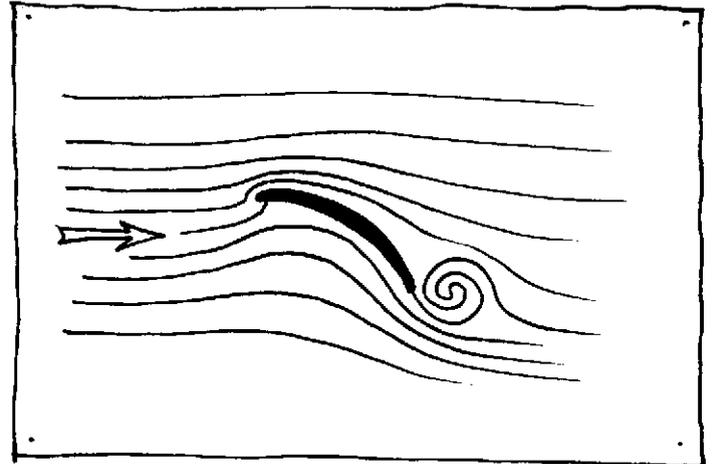
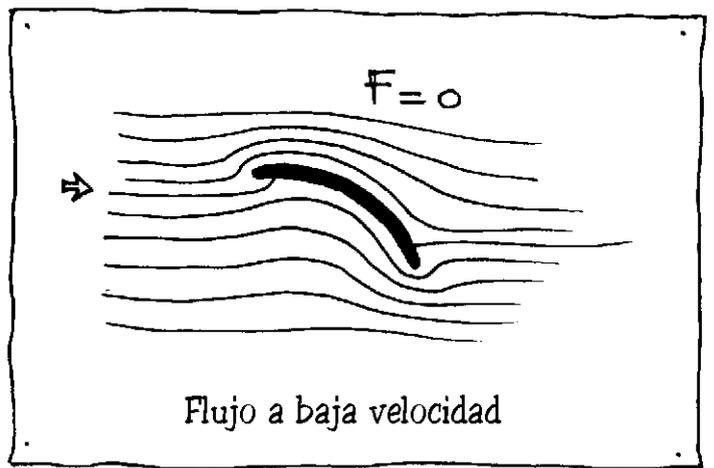


Mira, cuando muevo lentamente la cuchara, siento solamente una pequeña resistencia debida a la fricción



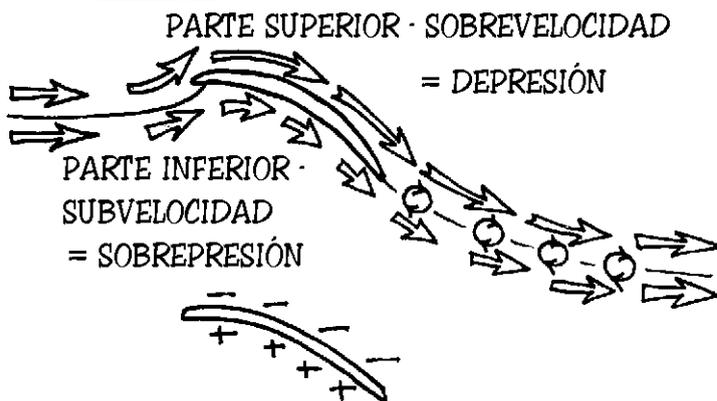
En cambio, si la muevo rápidamente, se crea un vórtice

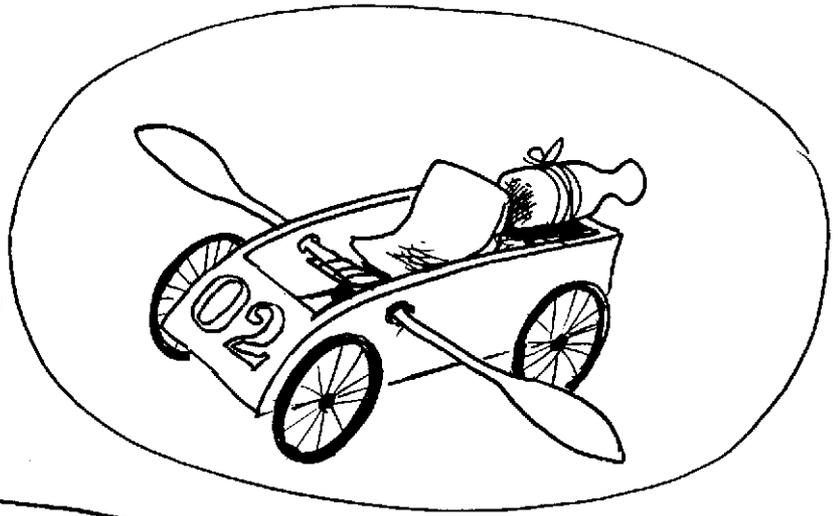




En los dibujos de al lado puedes observar cómo el flujo alrededor de la cuchara se modifica a medida que se aleja del régimen de bajas velocidades.

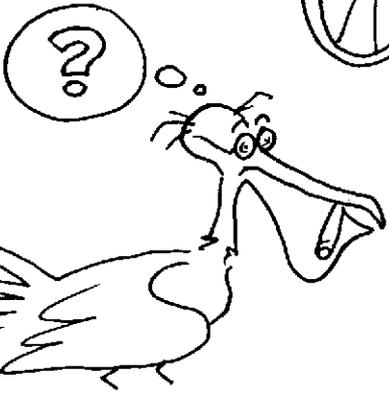
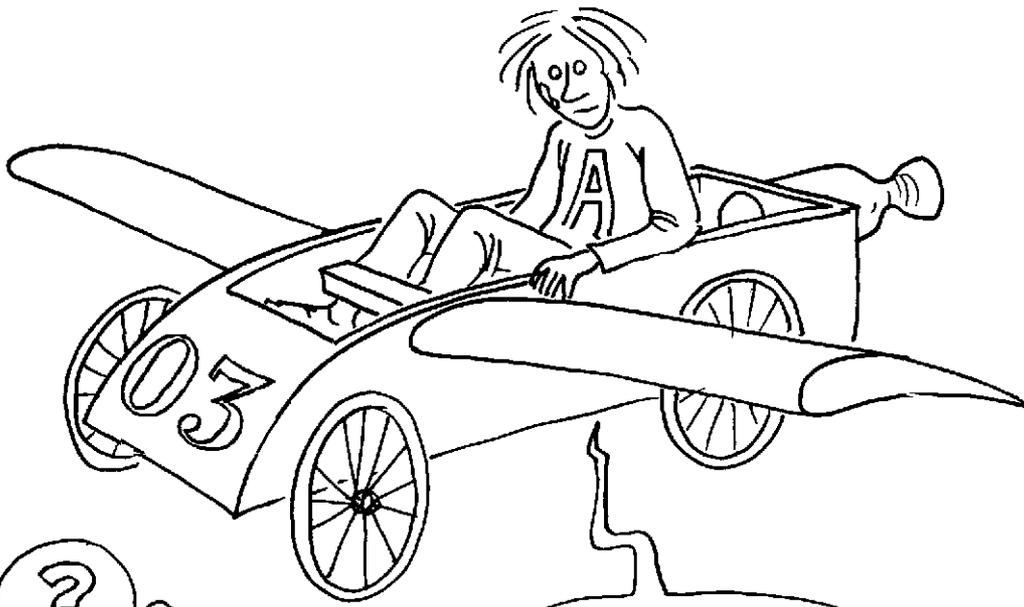
Un vórtice se separa, y esto establece un sistema de SUPERVELOCIDAD en la parte superior (arriba) y de SUBVELOCIDAD en la parte inferior (abajo)



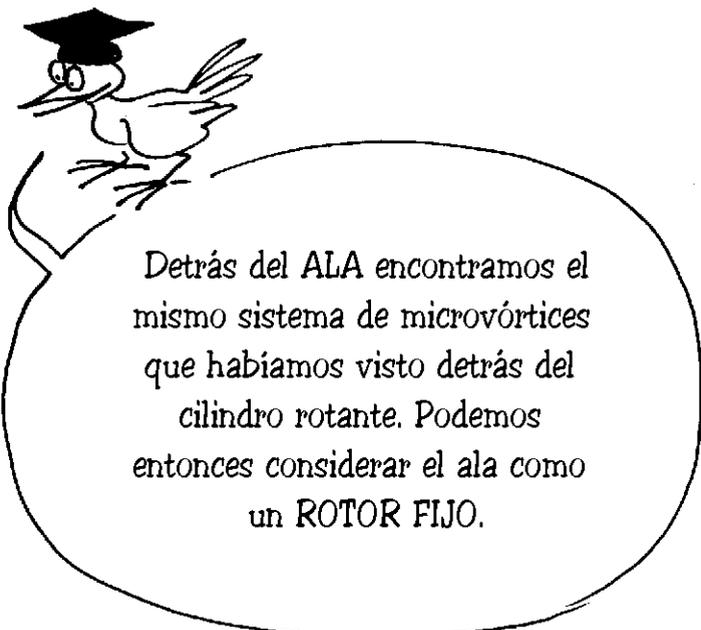
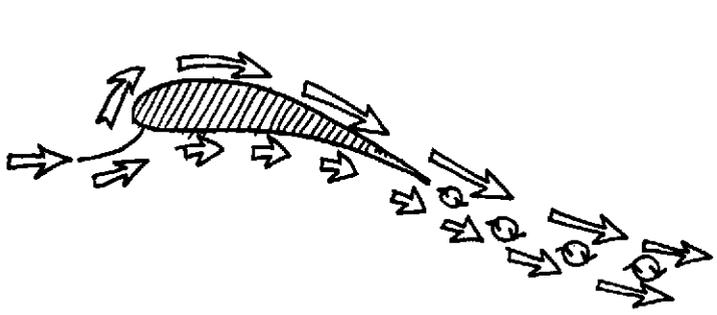


¡Estupendo,  
voy a volar con cucharas!

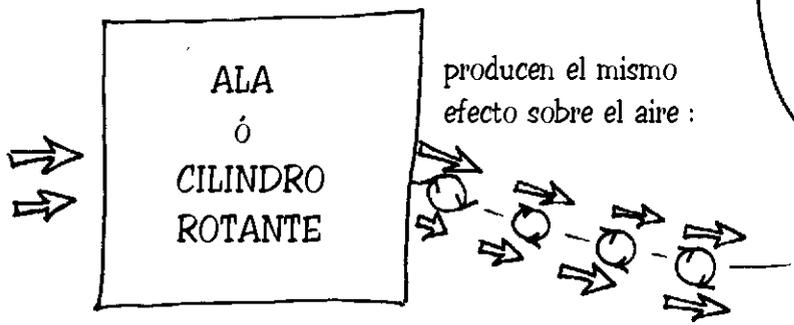
Pues sí, el ALA es una  
cuchara perfeccionada



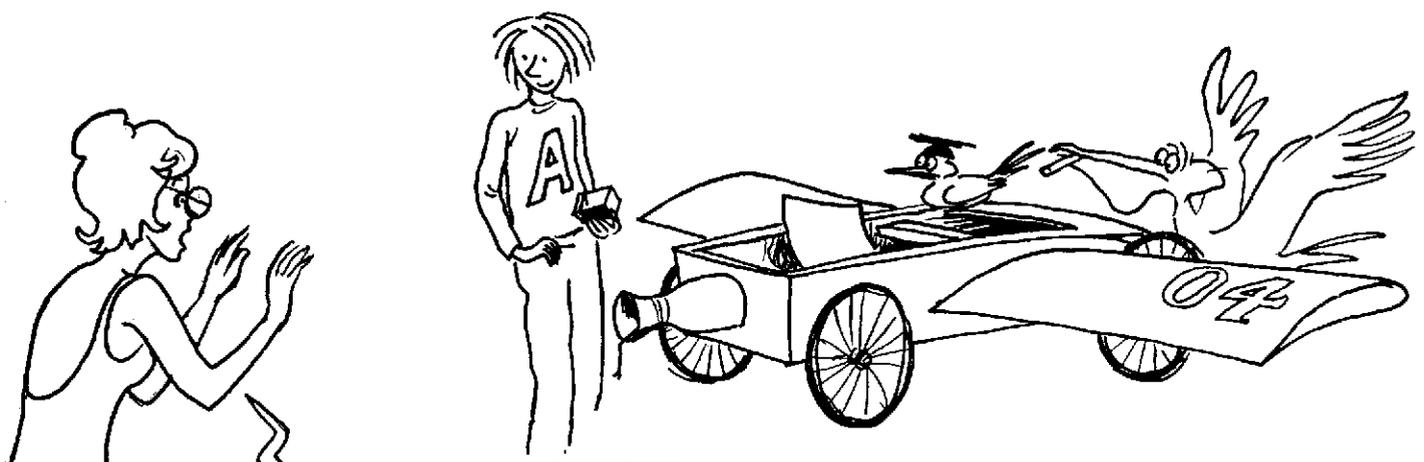
¿De acuerdo, pero  
dónde está la rotación?



Detrás del ALA encontramos el mismo sistema de microvórtices que habíamos visto detrás del cilindro rotante. Podemos entonces considerar el ala como un ROTOR FIJO.



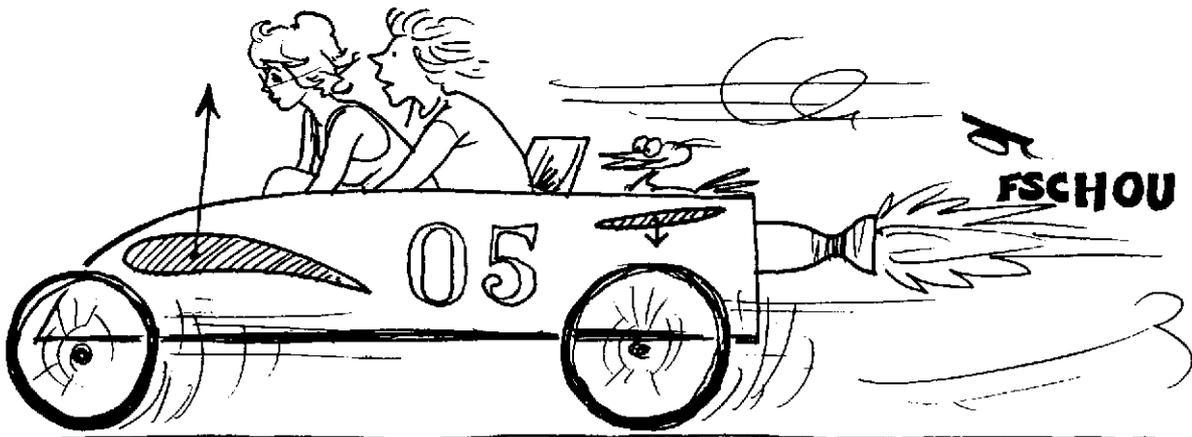
producen el mismo efecto sobre el aire :



¡Espera, ten cuidado!  
¡Vas a terminar rompiéndote el cuello! ¡Tu máquina, haciendo girar el aire, va a terminar en picada como antes!

Hay que agregarle un estabilizador





El ESTABILIZADOR es una pequeña ala inclinada en el otro sentido que produce, por lo tanto, una sustentación negativa y hace "bajar" la cola del AVIÓN, evitando que se vaya a pique

Mira, Anselmo, ese sistema es autoestable

Sí, ya veo...



Cuando uno tiende a irse a pique, la presión sobre el estabilizador tenderá a recomponer la línea de vuelo

Lo mismo ocurre cuando voy  
empinado



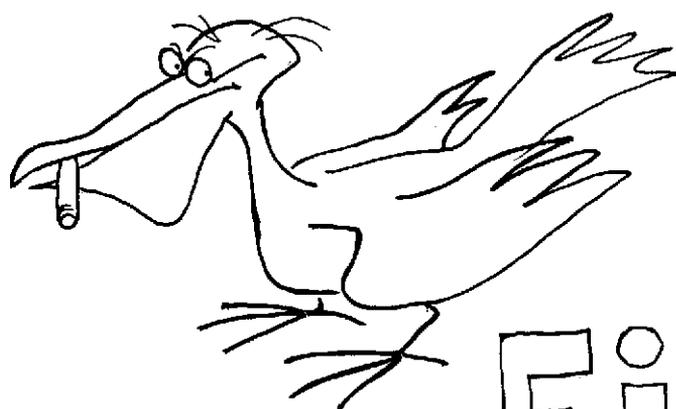
¡Anselmo, tú no escuchas  
cuando te hablo!

Eh... sí... sí...

¡Es maravilloso sentirse autoestable!



Fue así que Anselmo  
aprendió a volar.  
Al fin de cuentas, no era tan difícil.  
Y su interés por la ciencia no hizo  
sino aumentar con la altura...



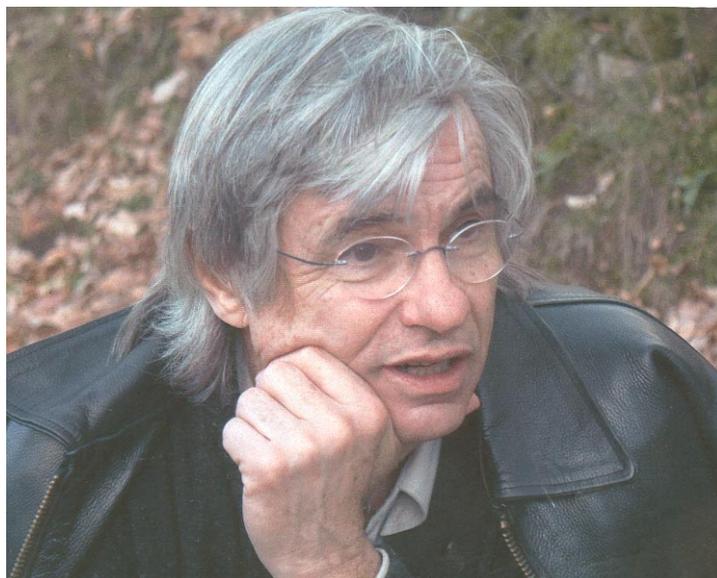
FIN



# Saber sin Fronteras

Association Loi de 1901

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



**Jean-Pierre Petit, presidente de la Asociación**

Antiguo director de investigaciones del CNRS, astrofísico y creador de un nuevo género : la Historieta Científica. Creada en el año 2005 junto con su amigo Gilles d'Agostini, la asociación Saber sin Fronteras tiene como finalidad distribuir gratuitamente el saber científico y técnico por todo el mundo. La asociación funciona gracias a donaciones y retribuye a sus traductores con 150 euros por cada historieta traducida (en el 2007), asumiendo además los cargos bancarios de las transferencias. Numerosos traductores en todo el mundo contribuyen a aumentar diariamente el número de álbumes traducidos, los cuales ascienden en el 2007 a 200 y son telecargables de manera gratuita en 28 idiomas, incluyendo el Laostaní y el Ruandés.

El presente archivo pdf puede ser duplicado y reproducido sin restricciones, parcial o totalmente, y utilizado por los profesores en sus cursos a condición de que lo hagan sin ánimo de lucro. Puede ser depositado en bibliotecas municipales, escolares y universitarias, tanto en forma impresa como en redes de tipo Intranet.

El autor tiene previsto completar la presente colección de historietas con álbumes más elementales, para chicos de 12 años. Igualmente están en proceso de elaboración álbumes « hablantes » para analfabetas, así como álbumes bilingües para el aprendizaje de idiomas a partir de las lenguas de origen.

La asociación está buscando continuamente nuevos traductores que puedan traducir las obras a su propia lengua materna y que posean las competencias técnicas que los habiliten para realizar buenas traducciones de los álbumes que emprenden.

## Para contactar la asociación basta con ir a su página web

**Para realizar una donación:**

Para otros países → **Número de Cuenta Bancaria Internacional (IBAN) :**

<b>IBAN</b>
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

y → **Código Identificador del Banco (BIC):**

<b>BIC</b>
PSSTFRPPMAR

Los estatutos de la asociación (en francés) están disponibles en su sitio web. Así mismo, la contabilidad puede ser accesada en línea, en tiempo real. La asociación no retiene dinero alguno de las donaciones, ni siquiera los costos de las transferencias bancarias, de modo que las sumas entregadas a los traductores son netas.

La asociación no paga a ninguno de sus miembros, que operan benévolamente y asumen ellos mismos los costos de funcionamiento y de administración del sitio web, costos que no son por lo tanto sufragados por la asociación.

Pueden estar seguros de que en esta especie de « obra humanitaria cultural », cualquiera sea la suma que ustedes donen, ésta será consagrada íntegramente a retribuir a los traductores.

En promedio, estamos poniendo en línea una decena de nuevas traducciones cada mes.