

Juguetes con interés científico

J. Güémez

Departamento de Física Aplicada,
Universidad de Cantabria.

Noviembre 9, 2003

Resumen

Las características más importantes del trabajo de un científico, la aplicación del método científico, pueden ejemplificarse mediante el uso de juguetes. Los experimentos que se pueden realizar con los juguetes hasta llegar a comprender los mecanismos físicos subyacentes ponen de manifiesto la aplicación del método hipotético-deductivo, base de la actividad científica.

Introducción

En un tiempo tan corto como el de que disponemos no podemos enseñaros toda la física, pero sí podemos mostraros cómo trabajan los científicos. Los científicos no se dedican a contruir aparatos de uso común, tarea a la que se suelen dedicar los ingenieros, sino a adquirir lo que denominamos *conocimiento fiable*, mediante la aplicación del *método científico*. ¿En qué consiste el método científico? No en hacer experimentos, como mucha gente cree. Al menos, no sólo en eso.

Ante cualquier fenómeno, natural o artificial, casi todo el mundo tiene una teoría. Lo que distingue a un científico de un no científico son sus diferentes comportamientos.

El primero es que ante un fenómeno dado observado por él durante un tiempo el científico admite una serie de hipótesis y con ellas elabora una teoría sobre la base *de las leyes de la física de las que nos fiamos en ese momento*. Esto es importante señalarlo. No consideramos que las leyes de la física sean inmutables para siempre. Si se revelan útiles y fiables, las mantenemos. Pero si empiezan a fallar en algún terreno, hay que buscar otras nuevas, más fiables. Esto es lo que hizo Albert Einstein respecto de Isaac Newton. Las leyes de Newton empezaron a fallar a grandes velocidades y Einstein elaboró la teoría de la relatividad. Volviendo a lo anterior, la teoría elaborada por el científico debe dar lugar a predicciones, es decir, debe indicar qué se supone que se va a observar cuando se lleven a cabo ciertas experiencias. Esto es también importante señalarlo. Las teorías que no hacen predicciones *susceptibles de ser comprobadas experimentalmente* no son teorías científicas.

Una vez elaborada una teoría, hay que someterla a contrastación experimental. Esto también es característico de un científico, pues poca gente va más allá de exponer su teoría y da el paso para contrastarla con los hechos experimentales.

El paso siguiente es analizar si los datos experimentales recogidos están en contradicción con las predicciones de la teoría. Si después de una análisis serio y riguroso se tiene la certeza de que los datos experimentales están en contradicción con

la teoría, ésta debe ser rechazada. Incidentalmente, las teorías *sólo pueden ser rechazadas, nunca confirmadas*. Por muchas experiencias que parezcan confirmarla, una teoría nunca está completamente segura, sólo provisionalmente.

Estos pasos, observación, admisión de unas hipótesis y elaboración de una teoría, realización de experiencias sugeridas por ésta y análisis y contrastación de los resultados experimentales con las predicciones de la teoría constituyen la base del método científico, conocido como método hipotético-deductivo.

Lo curioso es que la preparación de experimentos, su realización y el análisis de los resultados suele ser una tarea bastante divertida y muy gratificante, en la que se adquiere nuevo conocimiento fiable, se avanza. Lo que queremos poner de manifiesto a través de estos aparatos sencillos, algunos son juguetes, es que la aplicación del método científico es una tarea muy divertida. Os mostraremos especialmente cómo llevar a cabo experimentos que os ayuden a conocer las leyes de la física, pues las leyes de la física son las mismas para todos los sistemas, juguetes o centrales térmicas. También ayudaros a aprender cómo se puede razonar en ciencia y, finalmente, entender cómo funcionan estos juguetes. Y luego lo podréis aplicar en vuestros colegios.

Tres cosas importantes. La primera es que los principios de la física son los mismos para todos los sistemas. Los que se aplican a estos juguetes son exactamente los mismos que se aplican en una central nuclear, en un tren de alta velocidad o en un ordenador.

La segunda es que la física puede decirse que trata de buscar la semejanzas entre sistemas aparentemente muy diferentes y a buscar las diferencias entre sistemas aparentemente muy semejantes. Puede parecer un trabalenguas, pero intentaremos mostrároslo aquí.

La tercera es que con alguna probabilidad la gente os intentará engañar. Los gobiernos a veces os intentarán engañar, vuestros conocidos os intentarán engañar en ocasiones, hasta vosotros mismos intentaréis engañaros a vosotros mismos en alguna ocasión. O, tal vez, las personas os proporcionarán información equivocada sin querer

Quien no os va a engañar nunca ni os va a dar mala información es la naturaleza. *La naturaleza es sutil, pero no es maliciosa*, decía Einstein y Carl Sagan escribió que *La naturaleza no es complaciente*. No os engañará, pero habrá que ser muy riguroso, aplicar bien el método científico, y trabajar muy bien para conseguir sus secretos. Todo lo que sea trabajar sin rigor producirá chapuzas. Hay que saber interrogar a la naturaleza mediante experimentos pertinentes. Por ello hay que recordar una máxima importante, *La naturaleza siempre tiene razón, o no hay experimento que salga mal*. Somos siempre nosotros los que diseñamos mal el experimento o pasamos algo por alto. No lo olvidéis nunca.

Del mismo modo hay que recordar, *no se puede engañar a la naturaleza*. Se puede engañar a mucha gente, pero no a la naturaleza. No importan las excusas, la realidad siempre tendrá preferencia sobre ellas y algo no funcionará sólo con desearlo. No lo olvidéis tampoco nunca.

Juguetes

Termómetro de Galileo

Un termómetro de Galileo grande boyas color azul, calefactor de barra incandescente, termómetro de mercurio de precisión $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y termómetro digital con sonda metálica. Reloj de arena, reloj digital.

Aquí tenemos una primera tarea de un científico. Construir instrumentos de medida que sean fiables. Este termómetro se denomina de Galileo por haber sido Galileo Galilei el que lo inventó. Aquí tengo un termómetro de mercurio, denominado de Fahrenheit, y fue necesaria una revolución en la química para poderlo construir, utilizando vidrios especiales, capilares especiales y conseguir purificar el mercurio lo suficiente. Y aquí tengo un termómetro actual, digital. Ha hecho falta toda una revolución en física, mecánica cuántica, electrónica, etc., para poderlo construir. Algo parecido a lo que ha pasado con los termómetros ha sucedido con los relojes. El tiempo se empezó midiendo con relojes de arena y ahora se miden con relojes atómicos. Aquí tenemos uno digital. De nuevo ha tenido que suceder una revolución en física para poder tener este tipo de instrumentos.



Figura 1: Termómetros. De Galileo, de mercurio y digital

Y como todos los termómetros sirve para medir la temperatura, que se denota por T . Pero la pregunta ahora es, ¿qué es la temperatura? Pregunta difícil, pues el de temperatura es uno de los conceptos más difíciles de aprender en física. ¿Y que es el tiempo?, que se denota por t . También pregunta difícil.

Consta de un cilindro de vidrio lleno de agua en la que flotan 6 boyas cerradas con diferentes cantidades de aire, pues el líquido coloreado de azul que tienen en su interior es agua coloreada. A medida que la temperatura del aire varía también lo hace la temperatura del agua y las boyas se van hundiendo en función de la temperatura. La última bola que flota es la que indica a qué temperatura está el agua. En verano están todas abajo y en invierno están todas arriba. Ahora en otoño algunas están abajo y otras arriba.

Podemos dar una primera explicación diciendo lo siguiente. Lo que hace que una determinada boya flote es el *empuje de Arquímedes*. Si el peso del agua que el aire



Figura 2: Relojes. De arena, cronómetro y digital.

de una boya desaloja es mayor que el peso del vidrio, esa boya flota. Pero el peso del agua desalojado depende de su densidad y la densidad del agua entre los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ disminuye al aumentar la temperatura. A mayor temperatura, la misma masa de agua presenta mayor volumen y menor densidad, lo que viene caracterizado por su *coeficiente de dilatación lineal*. Volveremos a oír ésto más adelante.

Así, las boyas con menos aire desalojan menos peso de agua a medida que la temperatura aumenta y terminan por hundirse.

¿Por qué son importantes los termómetros? Como veremos, las diferencias de temperaturas juegan un papel muy importante en la explicación de muchos fenómenos y necesitamos aparatos para medirlas y así realizar buenos experimentos.

Conectemos la estufa. ¿A qué temperatura está el filamento de la estufa? Unos $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si la tocas te quemas. Luego veremos que hay más formas de quemarse, sin utilizar directamente calor.

Pasemos a lo siguiente. Luego volveremos para ver cómo va.

Lámpara de lava

1 lámpara de lava grande, color rojo, y 1 lámpara de lava de líquido denso amarillo.

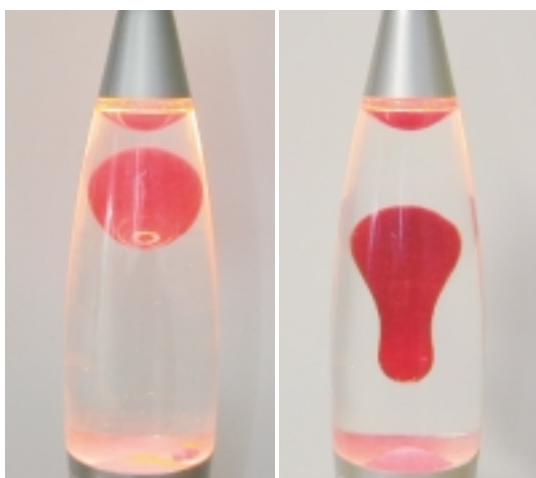


Figura 3: Lámpara de movimiento. (*Motion Lamp*)

Esta es una lámpara que habreis visto en las películas o en los dibujos animados de los Simpson. O tal vez no. Es decir, es posible que aunque la hayais visto, al no saber de qué se trata no habeis reparado en ello. Este es otro punto interesante, pues indica que sólo asimilamos aquello que de alguna manera reconocemos. No se observa sin más sino que se observa a partir de un conocimiento previo.

¿Qué tiene esta lámpara en común con el termómetro de Galileo? Aparentemente no mucho, pero cuando se analiza se comprueba que hay principios físicos comunes en el comportamiento de ambos. Esta lámpara consta de dos líquidos, uno coloreado y situado en el fondo, y otro transparente situado encima. El primero es más denso a temperatura ambiente que el segundo. Cuando se enciende la lámpara ambos líquidos se calientan. Pero aquí tenemos algo que volveremos a ver. Los cuerpos más oscuros absorben mejor el calor y la luz que los cuerpos más claros o transparentes.

Cuando la densidad del coloreado se hace menor que la del transparente, su volumen aumenta debido a su *coeficiente de dilatación cúbica*, el *empuje de Arquímedes* hace que ascienda. Luego se enfría y el peso hace que descienda.

A la hora de calentar el líquido, ¿qué temperatura diríais que se alcanza en el filamento de la bombilla? Unos 3000 °C, sin duda el punto más caliente de cualquier casa. Tened en cuenta que la corona solar está a unos 6000 °C.

Buzo de Descartes

1 buzo de Descartes en botella de plástico con cuentagotas, tubo de metacrilato de 1 m, llaves, jeringa de vidrio de 100 cm³, imanes, frasco lavador.

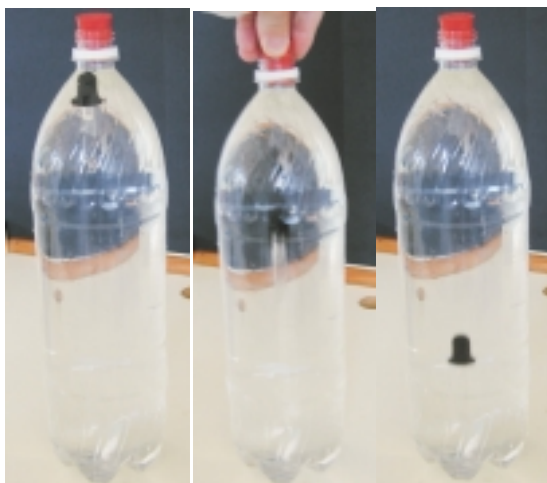


Figura 4: Buzo o diablillo de Descartes. (*Cartesian diver*)

¿Qué tiene en común con los anteriores? El principio de Arquímedes. Pero hay más. El *principio de Pascal*, por Blaise Pascal, y la *ley de Boyle*, por Robert Boyle. Todo esto se combina para dar el comportamiento que se observa.

Hablamos ahora de *equilibrio estable* de los tubos. Si se mueven o perturban, vuelven a su posición original. Lo podemos hacer con un imán o variando la presión.

Pero aquí puede haber sorpresas. Hay tubos que flotan, aumentamos la presión y se hunden, disminuimos la presión y ascienden. Pero no todos. Hay uno que antes

estaba flotando y ahora está en el fondo. ¿Qué le ha sucedido? ¿Por qué se comporta diferente de los demás?

Balancín térmico

Balancín térmico, velas y cerillas. Soporte con plomo.

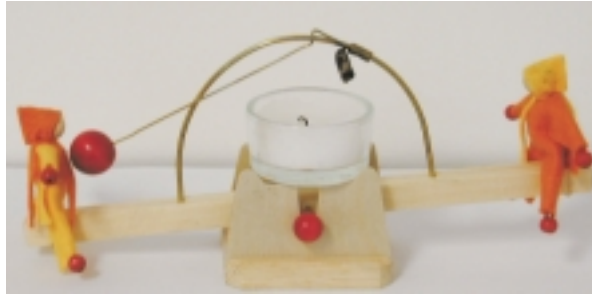


Figura 5: Balancín térmico

Aquí tenemos ahora una pequeña maravilla tecnológica. El balancín térmico produce movimiento a partir de la combustión de una vela. En palabras más técnicas, transforma la energía del calor producido por la reacción química de combustión de la vela en energía mecánica. Hasta el siglo XVIII, las únicas máquinas mecánicas eran los molinos de agua o de viento. Con máquinas alimentadas por el calor puedes construir eso lejos de los ríos o de los vientos.

Al dilatarse el pequeño resorte, y de nuevo tenemos aquí el concepto de coeficiente de dilatación que ya se ha visto en el caso del termómetro de Galileo para el agua y en el de la lámpara de lava para el aceite, con el aumento de su temperatura, mueve una bola que hace que el balancín se desequilibre. Al enfriarse de nuevo por el efecto del aire, vuelve a su posición original y el ciclo se repite.

¿Qué tiene en común además el balancín con la lámpara de lava? El movimiento que se observa en ambos juguetes es debido a una diferencia de temperaturas. En el caso del balancín entre la temperatura de la vela y la del aire y en el caso de la lámpara de lava entre la temperatura de la bombilla y la del aire. Y lo mismo sucede en una central térmica. La combustión del carbón o de el gas natural hace que se evapore agua a alta temperatura que hace moverse las turbinas que producen electricidad y movimiento.

¿Qué temperatura diríais que se alcanza en la llama de una vela?

Radiómetro

Dos radiómetros, uno de ellos sin tubo de vidrio de sellado. Un radiómetro con un lado plateado. Una bombilla de 100 W, rosquilla y soporte. Pájaro bebedor, copa, soporte con plomo pantalla plateada.

Aquí tenemos dos radiómetros de Crooke. Uno se mueve y el otro no. Aquí sucede que dos sistemas que son aparentemente muy parecidos presentan un comportamiento muy diferente. ¿Qué sucede? En el radiómetro que no se mueve ha entrado aire al romperse el tubo de sellado a través del cual se hizo el vacío. La



Figura 6: Radiómetro

resistencia del aire, la que se opone al movimiento de los coches por la carretera, impide que se mueva su aspa. En el que se mueve se ha hecho el vacío, los lados oscuros absorben más energía que los pulidos y las moléculas que les golpean lo hacen con mayor velocidad. Lo volveremos a ver en la bola flotante.

De nuevo tenemos la transformación de diferencias de temperaturas en movimiento. Si se conectara a una turbina, se podría producir electricidad.

En el caso del pájaro que hay detrás de la pantalla (¿Para qué puede ser la pantalla?), se mueve oscilando cuando la luz le ilumina, pero deja de hacerlo al apagarse la lámpara.

Pájaro bebedor

Un pájaro bebedor pequeño, un pájaro bebedor grande, un recipiente cúbico de metacrilato, higrómetro con pila y una base de poliexpan blanca. Bolígrafo con esferas conectadas y líquido verde.

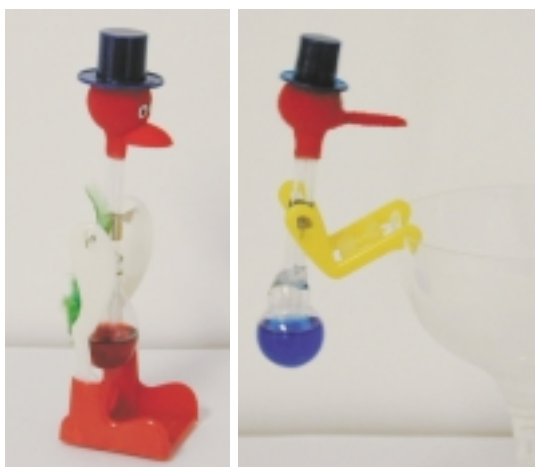


Figura 7: Pájaro bebedor. (*Drinking Bird*)

Aquí tenemos un pájaro bebedor igual que el de los radiómetros. Y se mueve igual que aquel. Pero éste sumerge el pico en una copa con agua y aquel era iluminado y

no tenía agua. Ahora tenemos dos sistemas aparentemente iguales que se comportan de forma muy parecida, pero que sin embargo se mueven debido a mecanismos muy diferentes.

¿A qué se debe que se muevan los pájaros? Si los recubrimos con este cubo transparente, se observa que al cabo de cierto dejan de oscilar. ¿Qué es este aparato que hay dentro del cubo invertido? Un higrómetro, sirve para medir la humedad dentro del mismo. El aire admite diferentes cantidades de vapor de agua dependiendo de la temperatura. En invierno admite poco y en verano mucho. Cuando la humedad es del 100 % el aire ya no admite más vapor y el agua líquida no se evapora.

Aunque parezca sorprendente, es la falta de humedad del aire la que hace que el pájaro se mueva. Cuando el aire se satura, éste se para.

¿Qué diferencia de temperaturas hay ahora que permitan este movimiento del pájaro bebedor? Antes estaba la bombilla y el aire, pero ahora, ¿dónde se produce esa diferencia de temperaturas?

En el agua de la cabeza del pájaro, que al evaporarse se enfría y enfría la cabeza. En el pájaro de los radiómetros el cuerpo del pájaro está a mayor temperatura que la cabeza, que está a temperatura ambiente. En el pájaro bebedor es el cuerpo el que está a temperatura ambiente y es la cabeza la que está a menor temperatura. En ambos casos, movimiento a partir de la diferencia de temperaturas.

¿Qué tiene en común con el radiómetro? Que también hay que extraer el aire de su interior (el vidrio de sellado está oculto bajo su sombrero). Si hay aire, el líquido no sube. Si hay aire el radiómetro no se mueve. Ésta es la importancia de los gases enrarecidos, a baja densidad.

Lámpara de descargas

Una lámpara de descargas pequeña, una mediana y una botella con sólido fluorescente, con sus correspondientes adaptadores. Fluorescente pequeño. Fluorescente de emergencia.



Figura 8: Lámpara de descargas. (*Plasma ball*)

Para explicar los fenómenos que se observan en una lámpara de descargas hay

que recurrir a la mecánica cuántica. La misma teoría que nos permite explicar estos fenómenos y estos colores nos permite construir las pantallas de los ordenadores o de los teléfonos móviles. Ahora ya no podemos recurrir a un lenguaje coloquial para entender lo que sucede, necesitamos físicas y mucha matemáticas.

¿Qué tiene en común con lo anteriormente visto la lámpara de descargas? Al igual que en el radiómetro o en el pájaro bebedor, se ha hecho el vacío en su interior para poder observar estos fenómenos.

Las descargas naturales se producen en las tormentas. Aquí podéis ver pequeñas descargas, pequeños rayos, que suenan igual que los de las tormentas, producen ozono igual que ellos y llegan a producir quemaduras. Es ahora la electricidad la que se convierte en calor.

Bola flotante

Secador, pelotas de diferentes tamaños y pesos, soporte, nuez y pinza.

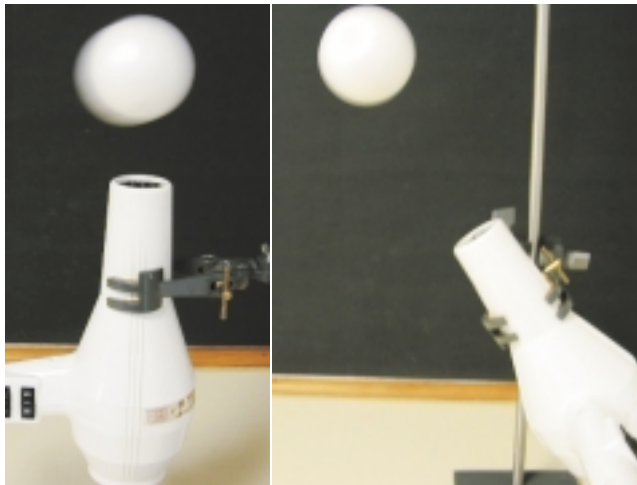


Figura 9: Bola flotante

Si un chorro de aire que proviene de un secador es enviado contra una bola, ésta adquiere velocidad y se aleja del secador. Se ha realizado una fuerza contra la bola. Pero si la bola se coloca en vertical sobre el chorro del secador, a esa fuerza se le opone la propia fuerza de la gravedad que actúa sobre la bola. Cuando ambas fuerzas se igualan la bola queda en equilibrio.

Las partículas lanzadas a alta velocidad que chocan contra la bola la lanzan hacia arriba, pues por el otro lado le golpean partículas a menor velocidad. Esto lo tiene en común con el movimiento del radiómetro. El flujo de partículas mantiene la bola flotante mantiene en equilibrio con su peso, mientras que en horizontal es el teorema de Bernoulli. Dentro del chorro la velocidad de las partículas es mayor que fuera y la presión del aire es menor. Cuando la bola intenta salir del chorro, la mayor presión de la atmósfera ejerce una fuerza que la devuelve al mismo.

Veamos ahora qué sucede si desviamos el chorro de aire. Observamos que la bola le sigue. ¿Qué sucede si cortamos el chorro de aire, si apagamos el secador? Dos teorías. Una. Al cortar el flujo de partículas desaparece la fuerza que se ejerce

sobre la bola y la reacción correspondiente y sólo queda la debida a la gravedad. Por tanto, la bola cae a pico. Dos, al quitar el aire de enfrente de la bola, el aire por detrás, que hasta ahora ha mantenido en equilibrio, la lanza contra la salida de aire del secador. Por tanto, la bola va hacia la boca del secador. Hagamos ahora el experimento.

Si uno dice que cae a pico, tapo la salida del secador con la mano y la bola cae a pico. Si dice que viene a la boca, yo apago el secador y la bola viene a la boca. Ha acertado, pero lo mismo se le podía haber engañado. Cuando el flujo se corta bruscamente, la bola cae a pico. Pero cuando se va cerrando el flujo de aire, la bola se acerca a la boca del secador, que es lo que sucede cuando lo apagamos. Cuando se apaga el secador el flujo no cesa bruscamente.

Superficies jabonosas

Recipientes con soluciones jabonosas, bastidores de diversas figuras geométricas.

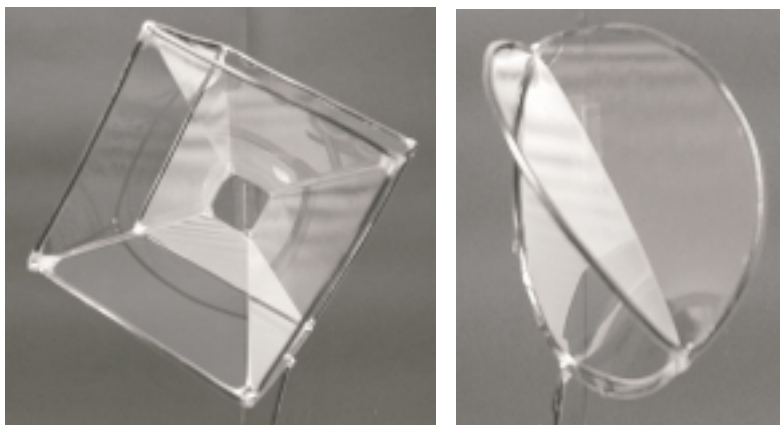


Figura 10: Superficies jabonosas

Cuando se introduce el bastidor con el hilo en el jabón y luego se saca, el hilo está arrugado. Si se rompe la superficie de jabón en el interior del hilo, éste adopta la forma de una circunferencia completa. ¿A qué se debe esto? Por la cohesión de las moléculas del jabón, la naturaleza tiende a que la superficie sea mínima, lo menor posible, entre el hilo y el bastidor metálico. Al encogerse la superficie jabonosa, tira del hilo por igual en todas las direcciones y construye una circunferencia. Como para el mismo perímetro la circunferencia es la superficie máxima posible, la superficie complementaria será la mínima.

La naturaleza consigue encontrar en décimas de segundo la superficie mínima que conecta los lados de diversas figuras geométricas. El tiempo necesario para calcular estas superficies mínimas utilizando un ordenador sería enorme. Hay toda una serie de teoremas matemáticos relacionados con estas figuras.

¿Qué tienen en común las superficies jabonosas con la bola flotante? En ambos casos hablamos de *equilibrios estables*. Si desplazas la bola un poco de su posición, tiende a volver a su punto de equilibrio. Si modificas la superficies, por ejemplo, soplando suavemente, vuelven a su posición original.

¿Qué tiene en común una pompa de jabón con las bolas que se forman en la

lampara de lava? La forma esférica de ambas. ¿Es casualidad? No, en ambos casos es la tensión superficial la que hace que para el mismo volumen se adopte la mínima superficie. En la pompa, el aire atrapado ocupa la mínima superficie cuando la pompa tiene forma esférica.

Luces y sombras

Caja de madera con cuatro bombillas, verde, roja, azul y amarilla, casquillos, cuatro interruptores y caja de encendido. Pie soporte en A, barra, nuez, dos pinzas, pantalla con círculo abierto central. Panel con cinco cartulinas de colores.

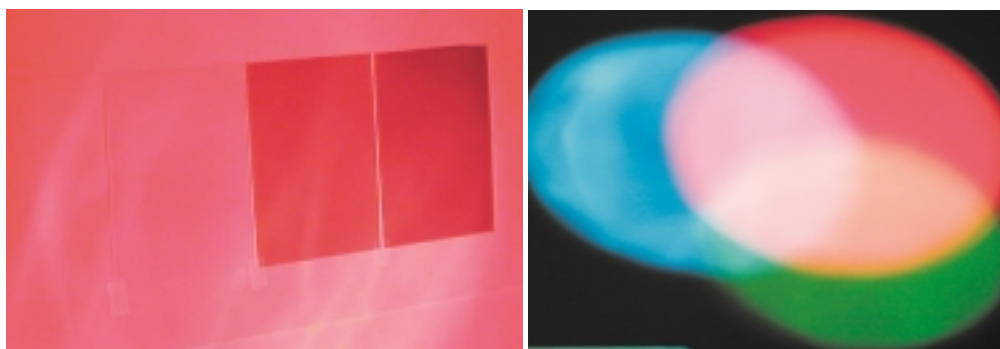


Figura 11: Luces y sombras

Cuando una hoja de papel rojo se ilumina con luz verde, el rojo se percibe como negro. ¿Por qué? Cuando la luz blanca, compuesta por todos los colores del espectro visible, ilumina la misma hoja pintada de rojo, ésta absorbe todos los colores *excepto el rojo*, que es enviado a nuestros ojos. Así, cuando es iluminada con luz verde, absorbe el color verde y nada llega a nuestros ojos, por lo que nos parece negro. Algo semejante sucede si una hoja de papel verde es iluminado con luz roja, que se percibe como verde, pues cuando la luz blanca ilumina la hoja pintada de verde, ésta absorbe todos los colores, *excepto el verde, entre ellos el rojo*.

Cuando se superponen la luz verde y la luz roja, se obtiene una luz amarillenta. Cuando se superponen verde y azul se obtiene una luz azulada clara. Cuando se superponen rojo y azul se obtiene un color magenta. Cuando se superponen verde, rojo y azul se obtiene una luz casi blanca.

Tres experimentos para pensar, experimentar y volver a pensar.

Para terminar, tres experimentos para que penseis. Uno, ¿cómo distinguir un huevo cocido de uno sin cocer y sin romperlo? Dos, ¿qué tiene en común dejar descender por la escalera al muñeco y lanzar ocho monedas para ver cuantas caras y cruces salen? Tres, ¿qué hace que el pequeño animalito al lado del resorte descienda a lo largo de la barra cuando se le hace oscilar y que permanezca en su sitio si está quieto?

Pistas. Uno, haced girar ambos huevos cogiéndolos con dos dedos por sus extremos y rotándolos. ¿Se observa alguna diferencia en la forma de girar? ¿A qué se puede deber? Cuando estén girando paradlos suavemente poniendo un dedo encima y volver a soltarlos. ¿Qué sucede después de quitar el dedo? ¿A qué se puede deber?

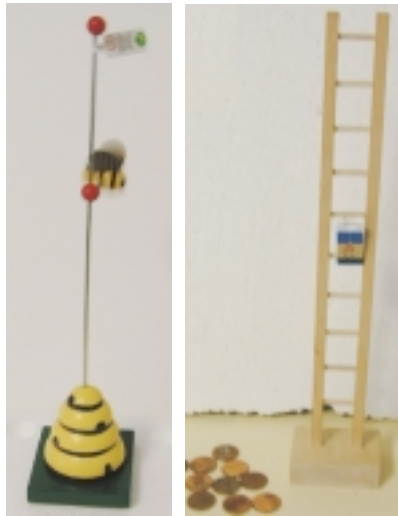


Figura 12: Experimentos con juguetes

Dos, el muñeco cae a uno u otro lado indistintamente, como si en cada peldaño de la escalera decidiera si va a un lado o al otro. Tres, al oscilar, el eje del muelle que sujeta al animalito pasa, un instante al bajar y otro al subir, es justamente perpendicular a eje de la barra.

¡Construid estos aparatos, o haced que os los regalen, y experimentad con ellos!