

---

# Física de la magia

---

El objetivo del mago es desconcertar, asombrar y maravillar a su audiencia realizando algo imposible en apariencia, algo que viola las leyes de la física. En muchos casos, sin embargo, las leyes de la física son la base que permite hacer los trucos.

Se revelarán trucos que ilustran algunas leyes físicas. Al acceder a la explicación de un acto de magia se corre cierto riesgo: luego de la revelación no podrá volver a sentirse la misma ilusión que se experimentaba antes, cuando uno creía, por un momento, estar ante un acontecimiento extraordinario. Sin embargo, luego de la fascinación se suele pasar a la curiosidad y, a pesar del riesgo antes mencionado, uno desea saber cómo se realizó el truco. La intención aquí es satisfacer esa curiosidad con algunos ejemplos sencillos y, a la vez, hablar de física. La profesión de la magia no correrá riesgos, pues se trata de trucos simples y antiguos que ya han sido revelados muchas veces en otros medios.

Si un mago intenta hacer creer a su público que posee algún tipo de poder paranormal, que sus trucos no poseen una explicación a través de leyes naturales, se trata de un mago del que se debe desconfiar. No obstante, la mayoría de los magos son

honestos, y admiten que sus ilusiones son creadas con medios naturales.

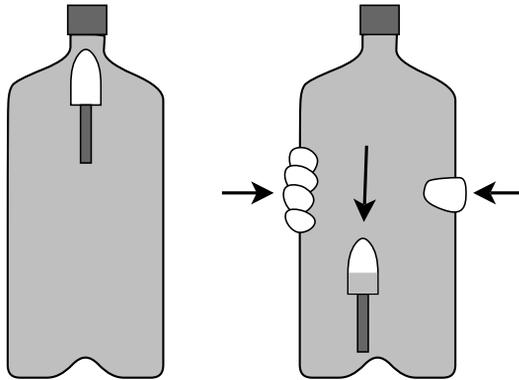
En las secciones que siguen se describen los trucos en los que se aplican leyes físicas de, por ejemplo, fluidos, estática, termodinámica y óptica.

La intención es usar las descripciones no solo como base para la explicación de los principios físicos subyacentes, sino también para dejar de manifiesto la semejanza que existe entre la fascinación de una persona que presencia un espectáculo de magia y la de un científico que observa la naturaleza. En ambas situaciones se puede sentir la misma sensación de asombro y maravilla. Igual que el espectador de los actos de magia, el científico quiere saber cuáles son los trucos que hay detrás de los actos de la naturaleza.

## El principio de Arquímedes

El *buzo cartesiano* es un experimento atribuido usualmente a Descartes; sin embargo no se han encontrado referencias a él en sus textos. La referencia más antigua es de 1648 y pertenece a Raffaello Maggiotti, un discípulo de Galileo, quien se atribuyó la invención del buzo cartesiano y explicó su funcionamiento.

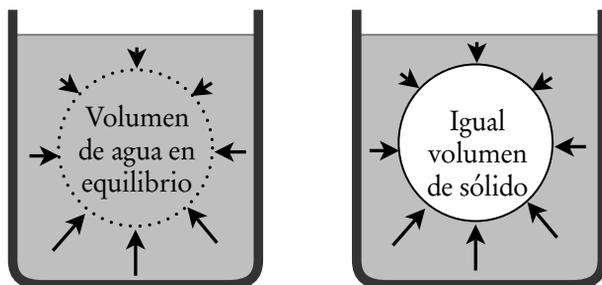
Dentro de una botella de plástico cerrada y llena de agua flota un tubo con aire, como se muestra en la Figura 1. (Puede usarse una botella de vidrio, como hizo Maggiotti, pero con la de plástico el truco sale más fácil.) Del tubo cuelga un peso tal que una pequeña fuerza sería suficiente para que el tubo y el peso se hundan. La botella se sostiene con la mano derecha. Se acerca lentamente la mano izquierda hasta tocar la parte inferior de la botella. El tubo se hunde. La mano izquierda parece ejercer un misterioso magnetismo sobre él. Al alejar la mano izquierda, el tubo vuelve a subir.



1. Buzo cartesiano. Consiste en un tubo hueco abierto por abajo dentro de una botella de plástico llena de agua. Al presionar la botella, entra agua en el tubo y se hunde.

El papel de la mano izquierda en este truco es desviar la atención del público. La verdadera responsable de la bajada y subida del tubo es la mano derecha, que sostiene la botella. El tubo tiene un orificio en su parte inferior. Si la mano derecha presiona con más fuerza a la botella, entra un poco de agua al tubo y se reduce el volumen de aire que contiene. Esta compresión hace que el tubo se hunda. Si la presión ejercida por la mano derecha se reduce, el volumen de aire dentro del tubo se expande hasta alcanzar su volumen original y el tubo vuelve a flotar.

El funcionamiento del buzo cartesiano se basa en el principio de Arquímedes (siglo III a. de C.): *todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del líquido desalojado*. Este principio puede entenderse de manera intuitiva mirando la Figura 2. A la izquierda de la figura se muestra un recipiente con agua en reposo; la línea punteada marca un volumen arbitrario de agua quieta. Las flechas alrededor de este volumen representan las fuerzas ejercidas por el líquido cir-

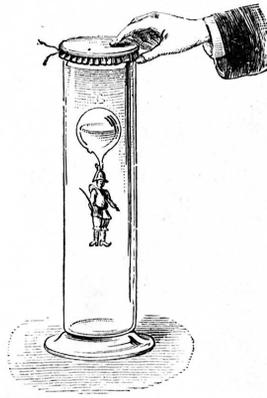


2. Ilustración del principio de Arquímedes. Las flechas indican el efecto producido por el líquido circundante, cuyo resultado neto es un empuje hacia arriba igual al peso del líquido contenido en la esfera.

cundante, cuyo efecto neto es producir un empuje hacia arriba que debe compensar exactamente al peso del volumen marcado; si así no fuera, el agua se movería. A la derecha, se ha reemplazado el volumen de agua por un objeto que posee la misma forma. El efecto del líquido circundante es el mismo que antes, o sea, también produce un empuje hacia arriba igual al peso del volumen de agua desalojada. Por lo tanto, si el objeto es más denso que el agua, se hundirá, y si es menos denso, flotará.

Volviendo al buzo cartesiano, cuando se presiona la botella se reduce el volumen de aire dentro del tubo y, por lo tanto, se reduce la cantidad de líquido desalojado, lo que, a su vez, reduce el empuje de abajo hacia arriba que se menciona en el principio de Arquímedes, haciendo que el tubo se hunda. Cuando se libera la presión, el aire se expande y el tubo vuelve a flotar.

El buzo cartesiano aparece en algunos viejos libros de física con el nombre de *ludión*, ver Figura 3. En el caso del ludión, el objeto que sube y baja es un muñeco con una burbuja de ai-



3. Ludión, ilustración de un libro de física editado en Buenos Aires en 1914.

re y la presión se varía haciendo fuerza con la mano sobre una membrana flexible que cierra por arriba el recipiente de vidrio.

## **La dilatación de los gases**

Esta sección empieza con el relato de un milagro. La historia transcurre en el siglo I, en las afueras de Alejandría, en la zona donde comienza el desierto. Un peregrino debe llegar, a la medianoche, hasta el templo dedicado al dios local para hacer una ofrenda. Camina a la luz de las estrellas. El único sonido perceptible es el rozar de sus pasos en la arena. Llega al templo y coloca su ofrenda sobre la pira, cerca de la entrada. Las llamas se elevan hacia el cielo estrellado. El dios parece aceptar la ofrenda y la consume a través del fuego sagrado. La puerta del templo está cerrada y el peregrino se encuentra completamente solo. Luego de algunos minutos, escucha un crujido que viene de la puerta. Se le eriza la piel e intenta tranquilizarse pensando que solo fue



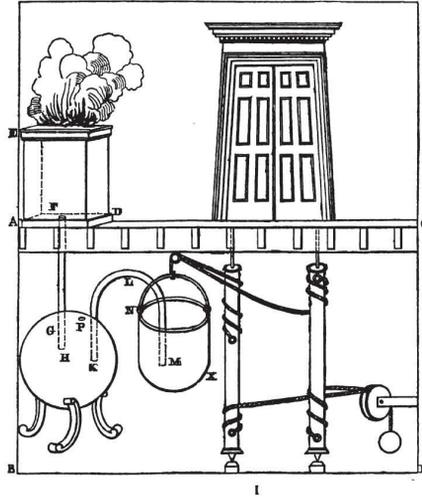
4. Arquímedes, 287-211 a. de C. Retrato imaginario del siglo XVI.



5. Herón de Alejandría, ca. 10-70 d. de C. Retrato imaginario del siglo XVII.

su imaginación. Al rato, otro crujido. La puerta parece moverse. Queda paralizado por el terror al ver que, poco a poco, la puerta se abre sola. Semejante prodigio le indica con claridad que el dios le es propicio y le permite la entrada a su santuario. El peregrino jamás olvidará esta experiencia y dedicará el resto de su vida al servicio y adoración del dios.

Herón de Alejandría (ca. 10-70 d. de C.), en su obra *Neumática*, explica cómo construir un templo cuya puerta se comporte de esta manera aparentemente sobrenatural. Describe un mecanismo oculto que se encuentra por debajo de la pira y que se conecta con la puerta del templo. El mecanismo se ilustra en la Figura 6. La pira es hueca y contiene cierto volumen de aire que, al expandirse por el calor del fuego, empuja el agua que se encuentra dentro de un recipiente, en una cámara oculta y subterránea. El agua pasa, a través de un tubo, a un balde sostenido



6. Templo descrito por Herón de Alejandría en su *Neumática*.

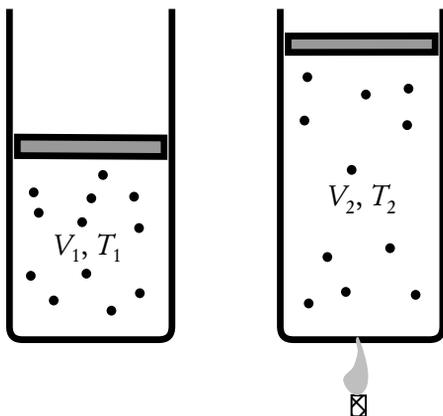
por una cuerda. La cuerda está enroscada a dos cilindros. Al aumentar su peso, el balde con agua tira de la cuerda y hace girar los cilindros, que están unidos a los ejes de la puerta del templo. De esta forma, la puerta se abrirá lentamente gracias al calor producido por la pira.

En su libro, Herón describe una gran cantidad de mecanismos ingeniosos dedicados a producir asombro. Uno más de ellos, que también utiliza la dilatación del aire al calentarse, son las libaciones de aceite en un altar, desde recipientes sostenidos por estatuas, como se describe en la Figura 7. El aire, al calentarse, empuja el aceite que empieza a gotear desde los recipientes y alimenta al fuego (ver *Física Recreativa I*, Perelman 1975).

El comportamiento de un gas, a presión constante, al variar su temperatura está descrito por la ley de Charles, que dice que el volumen del gas varía en forma proporcional a su temperatura. En otras palabras, si inicialmente tenemos un volumen



7. Libaciones en un altar, producidas por el fuego. Mecanismo descrito por Herón de Alejandría.



8. Ilustración de la ley de Charles. Inicialmente se tiene un gas a volumen  $V_1$  y temperatura  $T_1$ . Luego de calentarlo, manteniendo la presión constante, pasa a  $V_2$  y  $T_2$ .

$V_1$  a una temperatura  $T_1$ , y luego tenemos un volumen  $V_2$  a una temperatura  $T_2$ , entonces se cumple la relación

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

donde  $T_1$  y  $T_2$  son temperaturas absolutas, o sea, la unidad de medición es el Kelvin (por ejemplo, una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  es equivalente a 293 Kelvin). La Figura 8 ilustra este comportamiento. Jaques Charles, un científico francés, dedujo esta ley en 1787. ¿Por qué se usa el nombre de Charles para esta ley si Herón sabía de la dilatación de los gases mucho tiempo antes? La diferencia es que Charles fue el primero en expresar este fenómeno físico de forma matemática, lo que permite una descripción mucho más precisa y también la realización de predicciones. Es decir, con la fórmula matemática es posible predecir, por ejemplo, cuánto variará el volumen de un gas si se varía su temperatura en cierta magnitud. Por supuesto, la ley no vale para cualquier valor de temperatura, porque a temperaturas bajas un gas se transforma en líquido, y la ley de Charles solo vale para gases.

## **Equilibrio estable e inestable y el huevo de Colón**

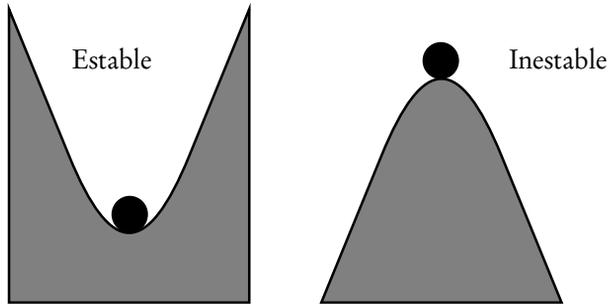
Un relato, probablemente apócrifo, de la vida de Cristóbal Colón cuenta lo siguiente. Luego de sus viajes, durante una comida con hidalgos españoles, uno de ellos dijo que, si Colón no hubiera descubierto América, algún otro navegante español lo hubiera hecho en poco tiempo. A Colón no le agradó el comentario; sin embargo, en lugar de argumentar en contra, pidió una bandeja con huevos. Luego desafió a los presentes a que tomaran un huevo y lo colocaran en posición vertical sobre una superficie lisa. A pesar de los esfuerzos, ninguno lo consiguió. Entonces Colón mostró cómo debía hacerse: cascó un huevo en



9. Fragmento del grabado de Theodore de Bry, 1594, que ilustra el relato de Colón y el huevo.

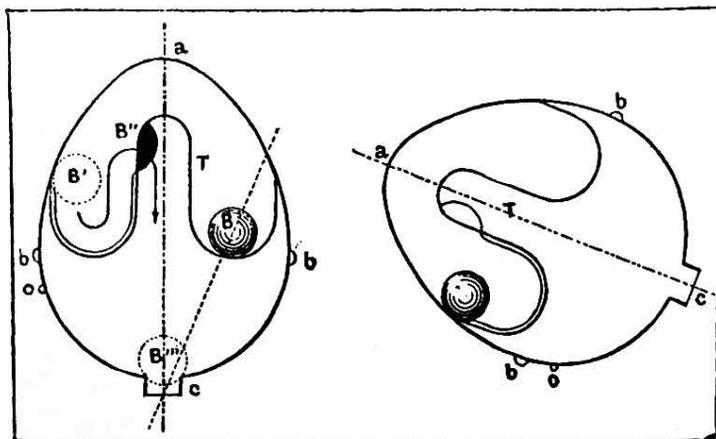
un extremo y lo puso vertical sin dificultad. Los demás protestaron, diciendo que de esa manera era muy fácil. Colón respondió que cuando se sabe cómo hacer algo entonces es fácil hacerlo; lo difícil es ser el primero. Esta anécdota ha tenido algo de fama y ha sido ilustrada por algunos artistas. Como ejemplo se muestra en la Figura 9 un fragmento del grabado de Theodore de Bry, de 1594.

El relato sirve para introducir el concepto de equilibrio estable e inestable. El ejemplo más simple es el de una esfera en el fondo de un pozo o en la cima de una colina. Las dos situaciones son de equilibrio en el sentido de que, si la esfera no es perturbada, quedará quieta en su posición, como se ve en la Figura 10. El huevo en posición vertical se encuentra en la misma situación de equilibrio inestable que la bola en la cima de una loma: cualquier pequeña perturbación hará que el huevo caiga.



10. Equilibrio estable e inestable.

La conexión de esta historia con un truco de magia es posterior a la época de Colón. Durante el siglo XIX se construyeron varios modelos de huevos con mecanismos ocultos que permitían transformar un equilibrio estable en inestable y viceversa. La Figura 11 muestra un ejemplo. El truco se realizaba de la siguiente manera. El propietario del huevo, único conocedor del mecanismo oculto, entraba a un bar y, emulando a Colón, desafiaba a los presentes a poner el huevo en posición vertical. Como era de esperar, ninguno lo conseguía. Cuando todos se hubieran convencido de que la tarea era casi imposible, el dueño del huevo anunciaba que él lograría hacerlo en el primer intento, con algunas apuestas de por medio. Al tomar el huevo, el dueño realizaba un movimiento disimulado que hacía que, dentro del huevo, una bolita de plomo pasara a través de un agujero, saliera de una canaleta y cayera a la base del huevo. Con la bolita en la base, el huevo en posición vertical corresponde a un equilibrio estable, y el dueño no tenía dificultad en cumplir con el desafío y ganar algún dinero (más información en Gardner 2001).



11. Mecanismo interno de un huevo metálico que circulaba en Londres a fines del siglo XIX. Mientras la pequeña bola de plomo se encuentre en la canaleta interna, el huevo no podrá ser puesto en posición vertical.

## Transmisión de calor

Durante los siglos XVIII y XIX era común encontrar en las ferias de Europa o Norteamérica algún representante de los “reyes del fuego” manipulando, en forma impresionante y peligrosa, objetos incandescentes, brasas o metales fundidos. Algunos ejemplos ilustres fueron Chabert y Madame Girardelli, la “célebre mujer a prueba de fuego”. La historia de estos y otros personajes similares, y la forma en que realizaban sus actos, pueden encontrarse en el libro de Houdini (1920), *Miracle Mongers and Their Methods*.

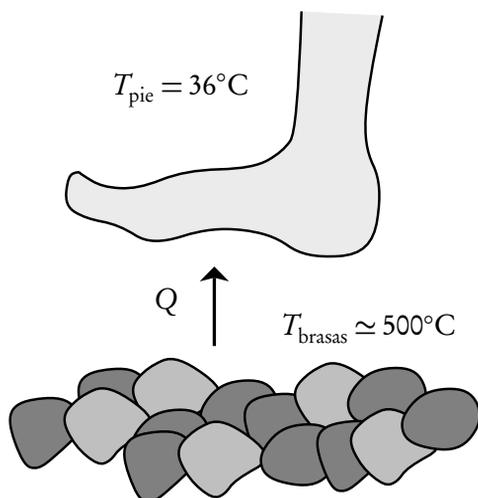
Dos de los actos más famosos de los reyes del fuego son caminar sobre brasas e introducir una mano en un metal fundido.

## **Caminata sobre fuego**

La caminata sobre fuego o brasas tiene, en realidad, una tradición mucho más antigua que la de los reyes del fuego. Aparece en la historia, como parte de rituales religiosos o como costumbres populares que pudieron haberse originado en antiguos rituales de pasaje, en, por ejemplo, Japón, India, Sudáfrica, el desierto de Kalahari, Polinesia, Grecia y Bulgaria. En algunos pueblos de España se practica como una costumbre popular; y a través de los españoles ha llegado a América. También se practica en algunos sitios del noreste argentino.

No se trata de un truco en el sentido de que exista un artificio o un ardid oculto al espectador, las caminatas sobre brasas son lo que parecen. En su libro *Los fenómenos paranormales*, el físico francés H. Broch explica por qué es posible caminar sobre brasas ardientes. El mismo Broch llevó a la práctica esta experiencia leyendo, mientras caminaba, su libro, para convencerse de que no se quemaría. No se quemó y la mayoría de la gente que hace estas caminatas no se quema. Sin embargo, si el fuego no está adecuadamente preparado puede haber quemaduras. El carbón, o la madera, debe tener poca humedad y las brasas deben arder durante un buen rato para que se evapore la humedad que pueda haber (esto no significa que se enfríen, las caminatas pueden hacerse sobre brasas a  $500^{\circ}\text{C}$  o más). La ausencia de humedad es necesaria para mantener baja la conductividad térmica del carbón, que, como veremos, es uno de los factores más importantes para que una caminata sobre fuego sea posible.

La Figura 12 es un esquema que muestra las variables del problema: el pie a temperatura  $T_{\text{pie}} = 36^{\circ}\text{C}$ , las brasas a  $T_{\text{brasas}} \simeq 500^{\circ}\text{C}$ , y el calor  $Q$  que fluye de la zona de mayor temperatura a la de menor. El punto crítico es mantener  $Q$  acotado, pues si supera cierto valor se producen quemaduras. El calor  $Q$  se obtiene de la ley de Fourier de transmisión de calor, cuya ver-



12. Caminata sobre fuego. La flecha indica el flujo de una cantidad de calor  $Q$  que va de las brasas al pie.

sión simplificada y adaptada a este caso es:

$$Q \propto k(T_{\text{brasas}} - T_{\text{pie}})t,$$

donde  $\propto$  significa “proporcional a”,  $k$  es la conductividad térmica del carbón y  $t$  es el tiempo durante el cual el pie está apoyado sobre las brasas. La diferencia  $T_{\text{brasas}} - T_{\text{pie}}$  es grande, lo que daría un  $Q$  grande y peligroso, pero está compensada por las otras dos variables,  $k$  y  $t$ , que deben ser pequeñas. La conductividad térmica del carbón o la madera,  $k$ , es 300 veces menor que la del hierro. El tiempo  $t$  que dura una pisada es del orden del segundo mientras se mantenga un paso rápido (no es necesario correr). Estos factores son suficientes para mantener  $Q$  dentro de márgenes seguros. Por supuesto, si en lugar de carbón se usa una plancha de hierro, o si en lugar de mantener el paso uno se queda parado, habrá quemaduras.

Otro factor que influye en el éxito de una caminata sobre fuego es la diferencia entre la capacidad calorífica del pie y la de las brasas. La capacidad calorífica indica la capacidad de un objeto de absorber calor. Es decir, un objeto con capacidad calorífica grande podrá absorber una gran cantidad de calor sin cambiar mucho su temperatura. La capacidad calorífica del pie es alrededor de tres veces mayor que la de las brasas. Cuando el pie y las brasas entran en contacto, el pie aumenta su temperatura y las brasas la disminuyen por el traspaso del calor  $Q$ . La diferencia en la capacidad calorífica hace que la variación de temperatura del pie sea menor que la de las brasas, o sea, el pie se calienta menos de lo que las brasas se enfrían. Este rápido enfriamiento de las brasas en el momento del contacto con el pie también ayuda a que el calor transmitido  $Q$  no sea demasiado grande.

Además de practicarse como parte de tradiciones populares o rituales religiosos, desde hace algunos años las caminatas sobre fuego también forman parte de las actividades de seminarios motivacionales. Ejecutivos de grandes empresas asisten a estos seminarios con la intención de alcanzar su máximo potencial de eficiencia a través de la motivación. Los especialistas afirman que las caminatas sobre fuego cumplen con el papel motivacional porque el caminante aumenta la confianza en sí mismo luego de haber superado ileso una prueba riesgosa. Mientras en una época se buscaba el dominio de la materia y el control del fuego a través del contacto con la divinidad, ahora se trata de un medio para aumentar la eficiencia en una empresa. Pero, a pesar de la explicación física, el peligro de quemaduras no está por completo ausente si el fuego no se prepara en forma adecuada. (Los puntos principales son: ausencia de humedad y la formación de una capa de ceniza para disminuir aún más la conductividad térmica.) En 2002, un grupo de ejecutivos de la empresa australiana KFC de comidas rápidas a base de pollo tuvo que recibir tratamiento por quemaduras causadas por una caminata sobre fuego. La noticia

fue publicada en un periódico australiano bajo el título *Los jefes de KFC no son pollos, pero seguro están tiernos* (Kennedy 2002).

## Mano en plomo fundido



13. Mano sumergida en plomo fundido.

Según David Willey, un profesor de física inglés, “nada captura más la atención de un alumno que ver a su maestro a punto de matarse”. Llevando a la práctica esta premisa, realiza ante sus alumnos algunas demostraciones bastante impresionantes. Una de ellas es introducir su mano desnuda dentro de un recipiente con plomo fundido, como se ve en la Figura 13. La

temperatura de fusión del plomo es  $327,5^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, para que la experiencia sea exitosa, es conveniente que el plomo esté aún más caliente, a alrededor de  $500^{\circ}\text{C}$ . La mano se introduce un instante y se retira con rapidez. Si el plomo está lo suficientemente caliente, se produce una fina película de vapor en torno a la mano por evaporación de la transpiración. Esta película puede mantener la piel separada del plomo fundido durante un breve lapso. Dado que, en algunos casos, la transpiración puede no ser suficiente para producir la película protectora de vapor, es conveniente mojarse antes las manos.

Más detalles sobre ésta y otras demostraciones espectaculares pueden encontrarse en la referencia Willey (1999).

## **Fuerza y presión**

La Figura 14 muestra un hombre santo hindú, en apariencia reposando sobre una cama con clavos. Dependiendo de la cantidad y del filo de los clavos, acostarse en una cama de este tipo, o usar zapatos con los clavos hacia arriba, puede ser doloroso. En la tradición hindú, una experiencia de este tipo es considerada como una prueba de devoción y como un medio para alcanzar un estado superior del ser. Las consecuencias físicas, sin embargo, no son graves: en general no se produce daño sobre la piel (especialmente si está curtida por la práctica). ¿Cómo es posible acostarse o pararse sobre clavos y no lastimarse?

La explicación está en la diferencia entre presión y fuerza. Por ejemplo, un calzado con taco tipo aguja puede dañar un piso de madera, mientras que la misma persona con un zapato con suela lisa no produce ningún daño. En ambos casos la fuerza que se aplica al piso es la misma: el peso de la persona. La diferencia, cuando el taco es tipo aguja, es que la fuerza está concentrada en un área pequeña. Entonces, el parámetro importante a tener en cuenta no es la fuerza, sino la fuerza por unidad de área, o sea,



14. Asceta hindú sobre cama con clavos en Benarés, India, 1907.

la presión. Si llamamos  $F$  a la fuerza,  $P$  a la presión y  $A$  al área, tenemos

$$P = \frac{F}{A}.$$

Volviendo a la cama con clavos, supongamos el caso extremo en el que hay un solo clavo y que el área de contacto con el clavo,  $A$ , es muy pequeña. De acuerdo con la ecuación anterior, la presión será muy grande y podrá causar daño. Pero, en la práctica, se tiene contacto con alrededor de 200 clavos y la presión promedio será  $P = F/(200A)$ , o sea, 200 veces menor que en el caso anterior, considerando que el peso se distribuye de manera homogénea. Esta disminución de la presión será suficiente para que no se produzcan daños, aunque probablemente no para transformar este lecho en algo confortable.

## Choques

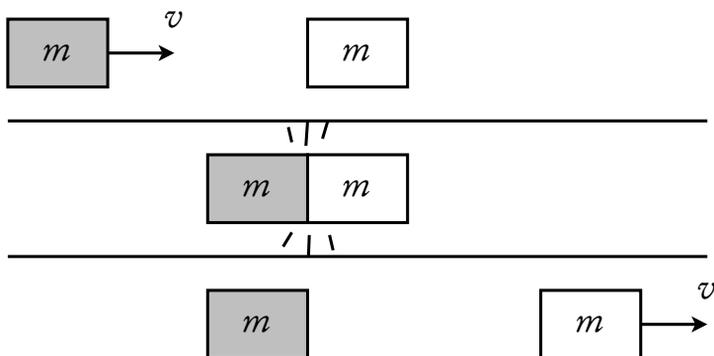
En la misma época en que los reyes del fuego, mencionados antes, gozaban de popularidad, también tenían éxito, en los mismos escenarios, las demostraciones de los hombres forzudos. Las pruebas que hacían eran variadas. Una de ellas se ilustra en la Figura 15, fragmento de un anuncio de las proezas de Johann von Eckenberg. En este caso, von Eckenberg se acostaba con



15. Una de las pruebas de von Eckenberg, famoso hombre forzudo del siglo XVIII (Houdini 1920).

una piedra sobre su abdomen y un compañero hacía pedazos la piedra golpeándola con una maza. Von Eckenberg se ponía de pie y saludaba al público sin dar muestras de dolor o daño físico.

La explicación de este acto tiene que ver con la distinción entre dos tipos de choques: elástico e inelástico. La Figura 16 muestra un diagrama de un choque elástico entre dos cuerpos de masas iguales. En un choque elástico la energía del movimiento, o energía cinética, se mantiene igual antes y después



16. Choque elástico entre dos cuerpos de masas iguales. El de la izquierda transmite toda su velocidad al de la derecha. No hay pérdida de energía cinética.

del choque. No se gasta energía en romper o deformar los dos cuerpos y la segunda masa continúa con la misma velocidad que la primera. El choque entre bolas de billar es aproximadamente elástico. Pero la mayoría de los choques son inelásticos y en estos casos siempre se gasta algo de energía en deformar o romper los cuerpos que chocan. Es lo que sucede en la demostración de von Eckenberg (y de varios otros que también la hacían). El éxito de la demostración depende en cierta medida de la habilidad del que da el golpe con la maza, pues debe aplicar la energía suficiente para romper la piedra, pero no más. De este modo, la mayor parte de la energía se consume en romper la piedra que, en la práctica, funciona como un escudo. Más información sobre los hombres forzudos puede encontrarse en el libro de Houdini (1920).

Willey realiza una demostración que consiste en una combinación de la cama con clavos y la rotura de un bloque sobre el pecho, como se ve en la Figura 17. En este caso, es necesario cubrirse el rostro y las piernas para evitar el golpe de algún trozo de bloque. La explicación consiste, por supuesto, en una combi-



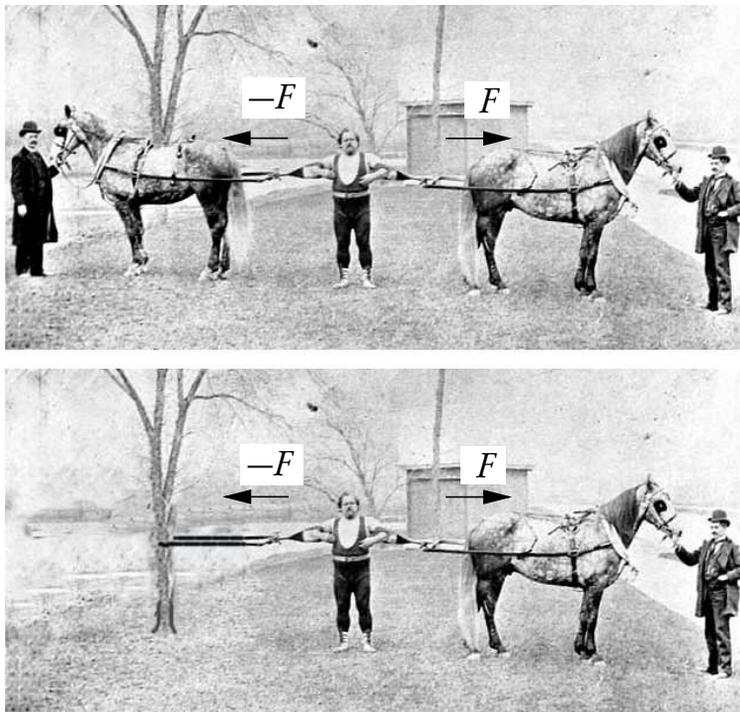
17. Combinación de cama con clavos y mazazo con bloque sobre el pecho. El temerario que recibe el golpe del profesor de física D. Willey (1999) es un animador de televisión de los EE.UU.

nación de las explicaciones presentadas en esta sección y en la anterior.

## **Equilibrio de fuerzas**

Hacia fines del siglo XIX las exhibiciones de hombres forzudos todavía mantenían su popularidad. Louis Cyr fue un canadiense que llegó hasta la categoría de mito por su gran fortaleza física. En Montreal hay un monumento dedicado a conservar su memoria.

La Figura 18 muestra una fotografía de 1891 en la que se ve a Cyr soportando la fuerza de dos caballos, uno a cada la-



18. El canadiense Louis Cyr en una de sus exhibiciones. Arriba, Cyr soporta la fuerza de dos caballos. Abajo, la fotografía modificada muestra la situación hipotética en la que solo un caballo tira de Cyr. En ambos casos, la fuerza que debe soportar es la misma.

do. Los caballos tiran con fuerzas iguales y opuestas indicadas con las letras  $F$  y  $-F$ . Imaginemos la situación en la que uno de los caballos es reemplazado por un árbol, como se muestra en la parte inferior de la Figura 18. A primera vista la exhibición es menos impresionante, pues ahora Cyr debe soportar la fuerza de solo un caballo. Sin embargo, si el árbol tiene suficiente firmeza, evitará que Cyr sea arrastrado por el caballo produciendo una fuerza igual y de sentido contrario. Las fuerzas que Cyr debe soportar son las mismas que cuando había dos caballos. Este análisis no sugiere que Cyr haya sido un fraude. Solo se busca llamar la atención acerca de la forma en que se preparaban este tipo de exhibiciones. Aunque las fuerzas que tuviera que soportar Cyr fueran las mismas en ambos casos, presentar la exhibición con dos caballos produce una impresión mayor en el público.

Sin embargo, un físico presente entre el público diría que si lo que se pretende es sostener a dos caballos, lo que debe hacerse es poner a ambos del mismo lado, para que sus fuerzas se sumen. Podemos imaginar a Cyr aceptando el desafío con una sonrisa displicente. Cyr no realizó la exhibición con dos caballos de un lado y el árbol del otro, pero, según un artículo de la enciclopedia Wikipedia, existen registros de que la realizó con cuatro caballos: dos a cada lado.

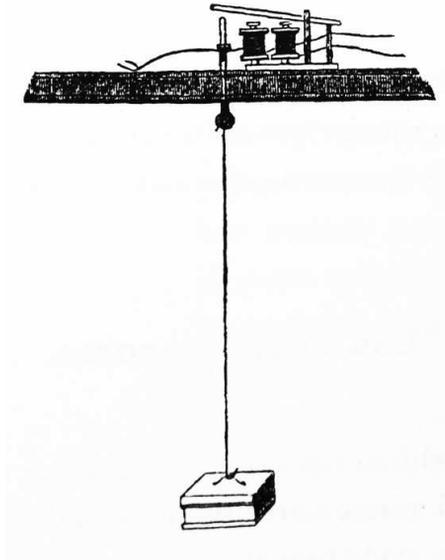
Otro detalle interesante que se aprecia en la fotografía de la Figura 18 está relacionado con lo que se conoce como momento de una fuerza. El momento de una fuerza es la capacidad de dicha fuerza para hacer girar un objeto con respecto a un eje. Para que el momento de una fuerza sea distinto de cero es necesario que la dirección a lo largo de la cual se aplica la fuerza pase a cierta distancia del eje de rotación. Por ejemplo, si la fuerza pasa por encima del eje, el objeto rotará en cierto sentido; si pasa por debajo del eje, rotará en sentido opuesto; y si pasa por el eje, no rotará en un sentido ni en el otro. En la fotografía de Cyr se puede ver que la fuerza que producen los caballos pasa por el codo, o sea, por el eje de rotación del brazo, por lo tanto dicha

fuerza es incapaz de rotar o abrir el brazo de Cyr. La fortaleza de Cyr se manifiesta en los músculos que mantienen unidas las articulaciones y que evitan que los brazos se disloquen.

## Caja de resonancia

Jean Eugène Robert-Houdin (1805-1871) es uno de los personajes más importantes en la historia de la magia. De origen francés, fue él quien popularizó la clásica imagen de los magos con galera y frac. Escribió un libro titulado *Magia y física recreativa* (Robert-Houdin 1998) en el que describe, entre otras cosas, una sesión espiritista en su propia casa. Los invitados, amigos y conocidos de Robert-Houdin, entran circunspectos a la habitación en penumbras y se sientan en torno a una mesa redonda. Frente a ellos, en el centro de la mesa y a la altura de sus cabezas, cuelga del techo una caja de madera. Antes de la sesión, todos revisan la caja y comprueban que está vacía. Unen sus manos, cierran el círculo magnético y, luego de un rato de invocar a los espíritus, reciben la primera respuesta: un pequeño golpe que proviene de la caja. Los presentes realizan preguntas al espíritu y reciben respuestas más o menos coherentes a través de un código de pequeños golpes. En su forma más clásica y simple este código consiste en lo siguiente: un golpe significa sí y dos golpes significan no. Al final de la sesión todos vuelven a revisar la caja y comprueban que está tan vacía como antes. Robert-Houdin despide a los invitados, que retornan a sus casas sin poder decidir si fueron engañados o si realmente asistieron a un fenómeno sobrenatural. El aspecto más asombroso de la experiencia es que el sonido de los golpes proviene única y claramente de la caja.

Robert-Houdin explica en su libro que, durante la sesión espiritista, en el piso, cerca de su pie, hay un interruptor eléctrico para activar un par de electroimanes ocultos en el techo (ver Figura 19) que sirven para golpear la varilla que sostiene la caja. La



19. Caja de madera, que cuelga del techo, utilizada por Robert-Houdin para su sesión espiritista. Oculto sobre el techo puede verse un par de electroimanes que se usan para golpear la varilla que sostiene a la caja.

vibración del golpe se transmite a través de la varilla hasta la caja. Sin embargo, el sonido del golpe proviene solo de la caja, y no de la varilla ni del techo. La razón es el fenómeno de resonancia.

¿Qué es la resonancia? Al hamacarse en un columpio un niño recibe la ayuda de su madre que da pequeños empujones en cada oscilación. Los impulsos de la madre se aplican con la misma frecuencia con la que el columpio oscila solo. Luego de un rato, la amplitud de la oscilación aumenta y el niño se divierte: ha entrado en resonancia. Si la frecuencia de los impulsos fuera mayor o menor, las oscilaciones no aumentarían su amplitud y no se produciría la resonancia. La resonancia es, entonces, la tendencia del columpio a oscilar con la máxima amplitud cuan-

do se lo impulsa con la frecuencia adecuada, llamada frecuencia de resonancia. En el caso de la caja de madera, las moléculas de aire dentro de la caja pueden oscilar como lo hace el columpio, y el impulso externo lo reciben a través de las vibraciones de las paredes de la caja, que llegan de la varilla que la sostiene. A diferencia del columpio, las moléculas de aire dentro de la caja tienen muchas frecuencias de resonancia diferentes. La vibración de las paredes de la caja excita algunas de estas frecuencias y hace que la amplitud de las oscilaciones aumente, produciendo el sonido que los asistentes a la sesión espiritista escuchan.

Henri Broch, en su libro *Los fenómenos paranormales*, recuerda de esta manera una sesión espiritista:

—Espíritu, ¿estás ahí?

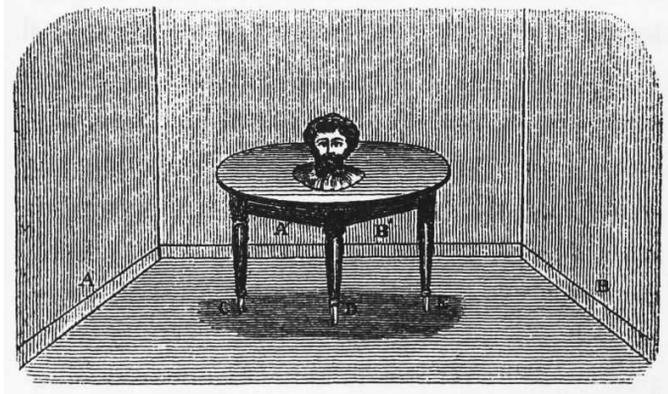
...En el cuarto reina la penumbra. Las manos forman la cadena sagrada sobre la mesa y toda la reunión está pendiente de los labios del médium:

—Si es sí, da un golpe; si es no, da dos golpes.

Se debe estar bien predispuerto a aceptar fenómenos extraordinarios para creer que un espíritu ausente pueda dar dos golpes. Si los da, debería dudarse, al menos, de su ausencia.

## Ley de reflexión

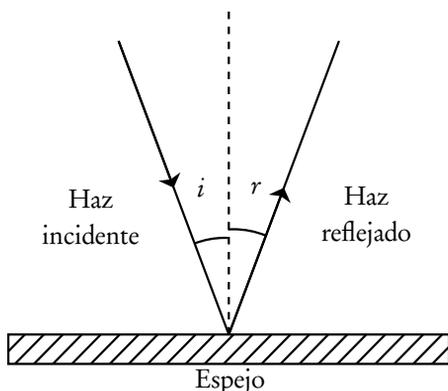
Robert-Houdin (1998) describe en su libro el truco de la cabeza parlante que se muestra en la Figura 20. Fue bastante popular hacia mediados del siglo XIX en París. Los que querían ver el prodigio, que era presentado como una especie de esfinge oracular, debían pagar un precio caro y atravesar pasillos oscuros, con cuadros tenebrosos, y bajar una escalera hasta llegar a la entrada de una habitación larga, húmeda y mal iluminada, con el ánimo bien predispuerto a la aprehensión. En el extremo de la habitación se hallaba la cabeza sobre una mesa. El visitante no podía acercarse pero podía realizar preguntas que eran con-



20. La cabeza sobre la mesa es real, habla y contesta preguntas. El truco se realiza utilizando espejos y la ley de reflexión.

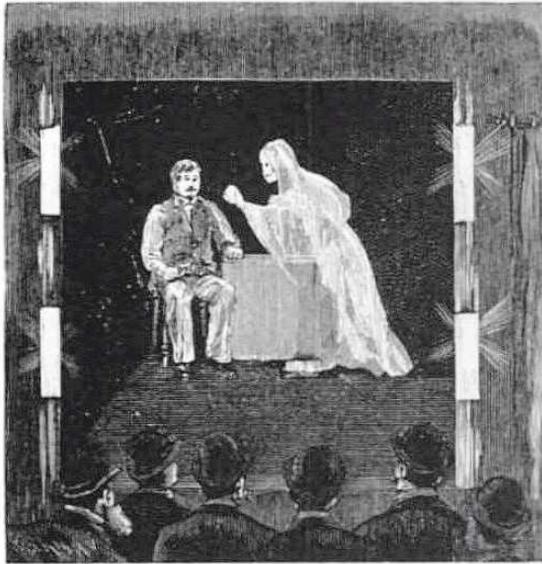
testadas por la cabeza con tono lúgubre. Según Robert-Houdin, se cometi6 el error de cobrar demasiado caro la entrada, lo que atrajo la asistencia de grupos de j6venes de la alta sociedad parisiense, desocupados, inquietos y poco respetuosos de las esfinges oraculares. Con el deseo de hacer valer el dinero invertido, algunos de ellos quisieron obtener mayor diversión de la cabeza parlante, y comenzaron a arrojarle peque1os objetos con la intenci6n de acertar en la boca. La pobre cabeza no podía hacer m1as que gritar e insultar. Todo termin6 cuando uno de los j6venes, algo inh1bil para arrojar objetos, dio con su proyectil bajo la mesa, entre las patas. El objeto, en lugar de atravesar el espacio por debajo de la mesa, rebot6 dejando en evidencia la presencia de un espejo que ocultaba al propietario de la cabeza. En la Figura 20, las zonas marcadas con  $A'$  y  $B'$  bajo la mesa muestran la reflexi6n de las paredes de los costados, marcadas con  $A$  y  $B$  respectivamente. Los espejos bajo la mesa est1n colocados de tal forma que las im1genes que producen parecen una continuaci6n

de la pared del fondo cuando, en realidad, son el reflejo de las paredes de los costados.



21. Reflexión de un haz de luz en un espejo. Las letras  $i$  y  $r$  indican los ángulos de incidencia y reflexión. Según la ley de reflexión,  $i = r$ .

El diseño de trucos con espejos requiere del conocimiento de la ley de reflexión, ilustrada en la Figura 21. Esta ley dice que, al reflejarse un haz de luz en un espejo, el ángulo de incidencia,  $i$ , debe ser igual al ángulo de reflexión,  $r$ . Antes de Galileo era raro que se utilizara la matemática para expresar leyes físicas. Una de esas excepciones fue la ley de reflexión, cuya expresión matemática es simplemente  $i = r$ . Herón de Alejandría dedujo esta ley partiendo de un principio que, siglos más tarde, también sería útil para deducir la ley de refracción: el camino que recorre un haz de luz es el más corto posible. Para llegar de un punto a otro, el camino más corto es una línea recta (en un espacio euclidiano). Herón deduce, por lo tanto, que la luz se propaga en línea recta. Si antes de llegar al punto final el haz se refleja en un espejo, Herón demuestra, usando los axiomas de Euclides, que el camino más corto es el que corresponde a  $i = r$ .

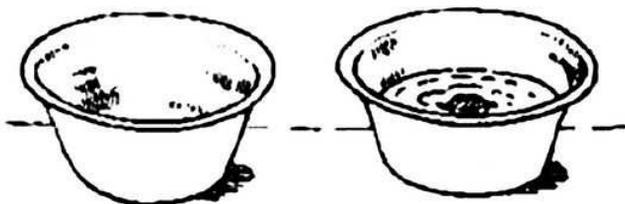


22. Aparición fantasmal producida con un espejo semitransparente.

Si nos encontramos en una habitación y miramos hacia afuera a través del vidrio de una ventana, la mayor parte de la luz que llega a nuestros ojos proviene del exterior. Si encendemos una luz dentro de la habitación, también podremos ver en la ventana, superpuesto a la imagen del exterior, el reflejo de la luz. El vidrio funciona, en este caso, como un espejo semitransparente. Lo que vemos es una superposición de luz transmitida del exterior y luz reflejada del interior. Esta superposición es la base de un truco usado en exhibiciones y obras de teatro durante el siglo XIX. El público se encuentra en penumbras y solo se ilumina la acción en el escenario. Entre el público y el escenario hay una gran placa de vidrio que, cuando la acción lo requiere, refleja figuras que se superponen a los actores. Robert-Houdin

(1998) y Hopkins (1901) explican entretenidas variantes de este truco, como la aparición fantasmal que se ve en la Figura 22. Hay una gran variedad de trucos que se realizan con espejos, algunos de ellos son bastante complejos y producen efectos espectaculares. Menciono un ejemplo más, descrito en el libro de Perelman (1975): el aparato de Roentgen. Este dispositivo sirve, en apariencia, para ver a través de cualquier tipo de material. En realidad, la luz elude el obstáculo desviándose en espejos.

## Refracción

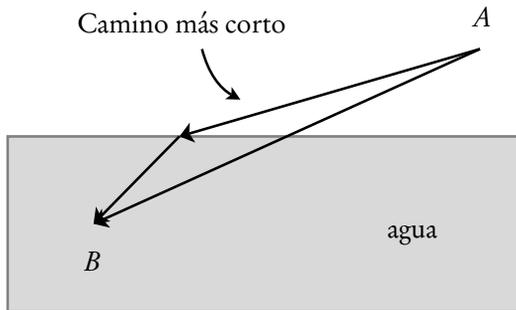


23. Truco de Ctesibio de Alejandría: aparición milagrosa de una moneda usando el fenómeno de refracción.

Ctesibio de Alejandría (siglo III a. de C.) era, como Herón, ingeniero y matemático. En alguno de sus textos describe la aparición milagrosa de una moneda. Se entrega al espectador un recipiente para que lo revise y compruebe que se encuentra vacío. Se toma el recipiente y se lo pone sobre una mesa. En ese momento se coloca, de manera disimulada, una moneda que queda oculta por las paredes del recipiente. El espectador continúa con la idea de que el recipiente se encuentra vacío. Luego de anunciar la inminencia de un fenómeno extraordinario para aumentar la expectativa, se procede a derramar agua dentro del recipiente; an-

te la mirada de asombro del espectador, una moneda aparece en el fondo de él.

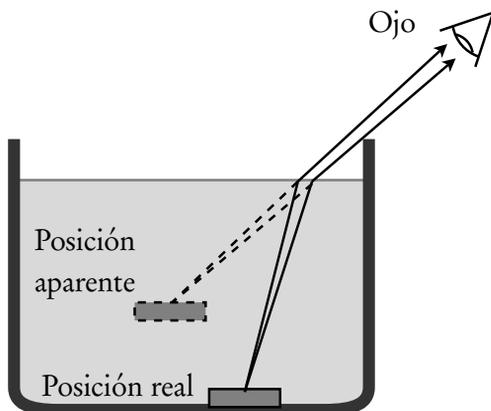
Cuando la luz se propaga en el aire, lo hace a una velocidad casi igual que en el vacío:  $c = 300000 \text{ km/segundo}$ . Cuando penetra en un medio como agua o vidrio, avanza a una velocidad menor. La nueva velocidad se escribe como  $c/n$ , donde  $n$ , el índice de refracción, es un número mayor que 1. En la sección anterior se aplicó el principio de Herón, que dice que, para llegar de un punto a otro, la luz siempre recorre el camino más corto. Haremos un pequeño cambio a este principio y consideraremos que se refiere al camino más corto en tiempo, o sea, al más rápido. La extensión del principio de Herón para reflexión y refracción fue propuesta por Ibn al-Haytham (Alhacen) en 1021, y por Pierre de Fermat en 1662. Supongamos que el punto de partida de un haz de luz se encuentra en aire y el de llegada en agua. El camino más rápido no será una línea recta, sino una línea quebrada como se muestra en la Figura 24. La trayectoria se quiebra a fin



24. Para llegar desde el punto A al B, el camino más corto en tiempo no es la línea recta, sino la línea quebrada. De esta manera se reduce el trayecto de la luz en el agua, donde su velocidad es más lenta.

de reducir el recorrido del haz en el agua, donde su velocidad es más lenta. La refracción es responsable del efecto óptico que se observa, por ejemplo, en una pileta de natación: el fondo pare-

ce estar más alto de lo que en realidad está. Lo mismo sucede en el truco de Ctesibio. En el esquema de la Figura 25 se dibujaron



25. Esquema del truco de Ctesibio. Si el recipiente estuviera vacío, la moneda en el fondo no sería visible. Al llenarlo de agua, la refracción produce una imagen en una posición aparente más alta, ahora visible.

dos rayos de luz que salen de la moneda, en el fondo del recipiente, y llegan hasta el ojo. En la superficie, los haces se desvían. Su prolongación, marcada con trazo discontinuo, converge en un punto donde se forma la imagen de la moneda, por encima de la posición real.

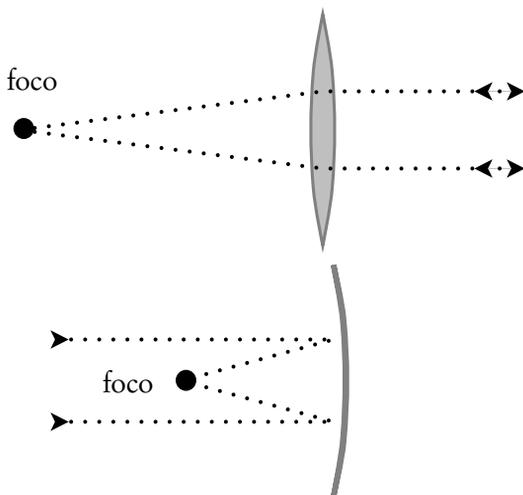
## La fotografía psíquica de Serios

Ted Serios era ordenanza de hotel en Chicago cuando se hizo famoso, durante la década de 1960, gracias al libro del psiquiatra J. Eisenbud, *The World of Ted Serios: 'Thoughtographic' Studies of an Extraordinary Mind*, 1966 (*El mundo de Ted Serios: estudios 'psicográficos' de una mente extraordinaria*). Serios reali-

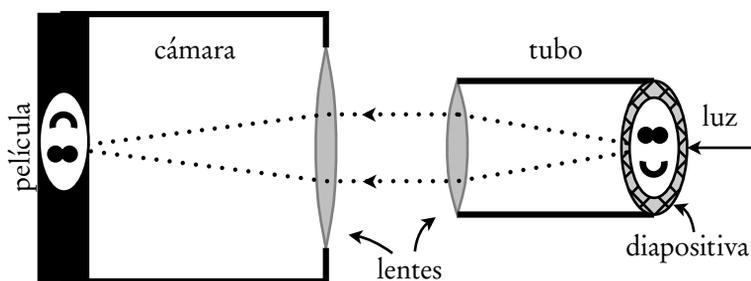
zaba fotografías de sus pensamientos. Las fotografías se tomaban con flash y con una cámara tipo Polaroid enfocada en el infinito. Serios se ponía frente a la cámara, el fotógrafo disparaba y, en ese instante, Serios ponía ante el lente su “gizmo”, un pequeño tubo que, según decían, le ayudaba a concentrar sus ondas psíquicas. La mayoría de las fotos eran manchas irreconocibles, pero en algunas se podían ver imágenes más o menos nítidas.

El truco ha podido ser reproducido por muchos fotógrafos y magos. Eisenbud continuó creyendo, hasta su muerte en 1999, en los poderes de Serios; durante la década de 1980 afirmaba que viejas fotografías psíquicas previamente no identificadas eran imágenes de Ganimedes, una luna de Júpiter, cuyo aspecto había podido verse con claridad recién en 1979, gracias al Voyager II. “Desafortunadamente”, se quejaba Eisenbud con amargura, “no pude conseguir un astrónomo o científico óptico que esté de acuerdo”.

No es imprescindible recurrir a la existencia de un poder paranormal para explicar este truco (Randi y Clarke 1997). La fotografía psíquica se puede reproducir utilizando un tubo, o gizmo, adecuado. Para entender el pequeño secreto de este tubo es necesario recurrir a la rama de la física conocida como óptica geométrica, que explica cómo se desvían los rayos de luz al atravesar lentes o rebotar en espejos. El punto de partida es el concepto de foco de una lente, que se ilustra en la Figura 26. El foco es el punto en el que convergen los rayos que inciden sobre la lente en forma paralela. La trayectoria de los rayos es la misma en un sentido o en el opuesto, por lo tanto, los rayos de luz que se emitan desde el foco, al pasar por la lente saldrán paralelos. Para realizar una fotografía psíquica, el tubo y la cámara de fotos deben disponerse como se muestra en la Figura 27. Se debe disponer de una diapositiva con la imagen que se quiere reproducir. El tubo tiene una lente en un extremo y en el otro se coloca la diapositiva a una distancia igual al foco de la lente. Cuando se dispara el flash de la cámara, la luz rebota en la cara o en la ropa del



26. La definición de foco es la misma para una lente que para un espejo curvo: los rayos que inciden paralelos (o sus prolongaciones) convergen en el foco.



27. Cámara y tubo para realizar una fotografía psíquica de una cara sonriente.

“psíquico” y penetra en el tubo en dirección a la cámara. Cada punto de la diapositiva emite rayos de luz que, al pasar por la lente del tubo, salen paralelos. La cámara debe estar enfocada en el infinito, de modo que los rayos que llegan paralelos, provenientes en principio de objetos lejanos, convergen sobre la película (o sobre el sensor si se trata de una cámara digital). Los rayos no provienen de un objeto lejano, sino del tubo, sin embargo aparentan venir de lejos pues llegan paralelos. Al pasar por la lente de la cámara, la imagen de la diapositiva se proyecta sobre la película. Todo aquél que desconozca el contenido del tubo tendrá la impresión de que la aparición de la imagen es un misterio.

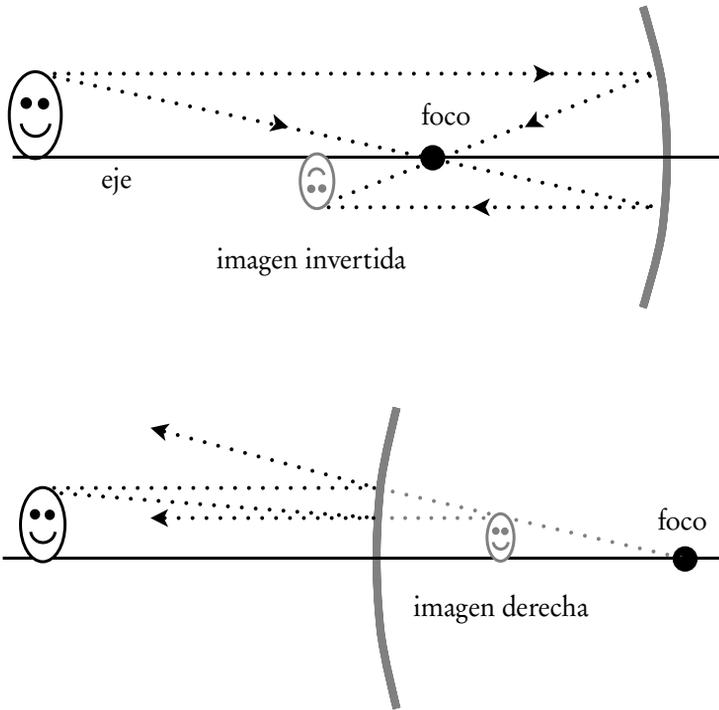
## Espejo cóncavo

Hay un truco sencillo, adecuado para hacer ante un niño, que solo requiere del uso de una cuchara brillante. Se muestra la cara convexa de la cuchara para que el niño pueda ver su rostro reflejado. Se hacen unos pases mágicos con la mano para distraer la atención mientras se avisa al niño que su cabeza será dada vuelta. Durante esta maniobra se gira la cuchara para que quede expuesta su cara cóncava. Cuando el niño vuelva a mirarse verá su rostro al revés. Es probable que se dé cuenta de que la cuchara fue girada. El truco igual producirá asombro, pues no es evidente la razón por la cual de un lado de la cuchara la cara se ve derecha y del otro se ve al revés. El siguiente fragmento del poema de Silvina Ocampo, *La cara apócrifa* (en *Amarillo celeste*, 1972), expresa esta perplejidad:

La conocí diminuta  
adentro de una luciente cuchara de plata  
abría y cerraba la boca  
cuando yo no sabía quién era.  
Como a un simio curioso la contemplé.  
Di vuelta la cuchara: la vi al revés.  
¿Por qué al revés?

¿Por qué al revés? De nuevo es necesario recurrir a la óptica geométrica y utilizar la definición de foco de la Figura 26. El objetivo de los esquemas de la Figura 28 es determinar cómo es la imagen reflejada trazando dos rayos que pasan por el foco. Con dos rayos es suficiente porque el punto donde se cruzan será el punto donde los rayos convergen y donde se forma la imagen. Un rayo incide paralelo y su reflexión pasa por el foco. El otro rayo considerado pasa, antes de reflejarse, por el foco y luego se refleja paralelo. En el caso convexo, en la parte inferior de la figura, el foco está detrás del espejo y hay que considerar las prolongaciones de los rayos, mostradas con trazo gris. Los rayos considerados parten de la frente del rostro e indicarán, por lo tanto, donde se forma la imagen de la frente. Para saber si la imagen queda invertida o derecha tenemos que saber dónde queda la imagen del mentón. En el gráfico se ubica el rostro de tal forma que, el mentón esté justo sobre el eje del espejo, los rayos que van a lo largo de este eje se reflejan en forma perpendicular, o sea, siempre a lo largo del eje. La imagen del mentón, entonces, estará también sobre el eje. Con estos datos ya se puede saber si la imagen del rostro queda derecha o invertida. Otro dato que sale de los gráficos es que, en el caso convexo, la imagen se forma detrás del espejo (llamada imagen virtual), y, en el caso cóncavo, la imagen está delante del espejo (imagen real).

Luego de conocer la explicación de la imagen invertida en la cara cóncava de la cuchara, el poema de Ocampo queda algo estropeado en relación a su contenido de misterio. Si se lo vuel-



28. Diagramas de rayos para determinar la posición de la imagen cuando un rostro se refleja en una cuchara del lado cóncavo (arriba) o convexo (abajo).

ve a leer, no producirá la misma sensación. Sucede algo similar al conocer el secreto de un truco de magia: luego de revelado, el truco queda vacío de misterio. El lector ya sabe que la intención de este libro es satisfacer la curiosidad y que, si se logra, la consecuencia inevitable es la anulación del enigma. La situación no es preocupante, porque, afortunadamente, siempre hay magos o poetas dispuestos a renovar la cuota de ilusión y misterio.

## **Agradecimientos**

El contenido de este capítulo ha sido presentado en charlas para todo público y en escuelas. Al final de las charlas, los magos Alan Magic y Fernando Rodríguez contribuyeron desinteresadamente a recuperar la ilusión realizando trucos maravillosos que no fueron explicados. Les agradezco a ellos y también a David Willey por permitirme el uso de sus imágenes.