

Máquinas de movimiento perpetuo y las leyes de la termodinámica

La búsqueda del móvil perpetuo ocupa en la historia de la ciencia un espacio notable. Los diseños realizados, los errores cometidos y los intentos por corregirlos contribuyeron en gran medida al desarrollo de la parte de la física que estudia las transformaciones de energía: la termodinámica. Estas transformaciones se refieren, por ejemplo, a la conversión parcial de calor en movimiento ordenado que tiene lugar en cualquier máquina que consume algún tipo de combustible, lo que da idea de la enorme importancia práctica que tiene la termodinámica. Una vez establecidas las leyes de la termodinámica durante la segunda mitad del siglo XIX, quedó clara la imposibilidad de construir una máquina de movimiento perpetuo. Estas leyes están tan bien establecidas como la ley de la gravedad. Esperar que no se cumplan es equivalente a esperar que una piedra, al soltarla, no caiga.

Es importante distinguir entre el movimiento perpetuo que se tiene, por ejemplo, en un péndulo que idealmente carezca

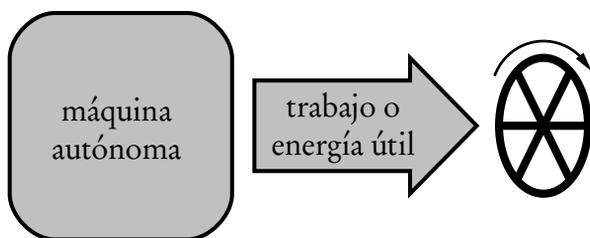


Fig. 1. Esquema de máquina de movimiento perpetuo. Además de funcionar de forma autónoma, sin ayuda exterior, produce trabajo, como hacer girar una rueda.

de rozamiento con el de una máquina de movimiento perpetuo. La máquina, además de funcionar en forma perpetua y autónoma (o sea, sin recibir energía del exterior), produce un trabajo útil como, por ejemplo, hacer girar una rueda, como se ve en la figura 1. Este trabajo útil no se puede extraer de un péndulo sin rozamiento porque, en cuanto uno lo intenta, el péndulo se frena y el movimiento perpetuo se destruye.

La máquina de movimiento perpetuo se ha tornado sinónimo de quimera inalcanzable. Sin embargo, la fascinación que produce no cesa y los intentos por construir una continúan. De hecho, al observar un diseño, es casi inevitable pasar algunos minutos observando los mecanismos involucrados y analizando los detalles. La primera reacción es, en general, de escepticismo porque, aunque uno no conozca las leyes de la termodinámica, posee la intuición de que no es posible sacar algo de la nada, o producir energía o trabajo útil sin consumir energía de alguna fuente. Esta intuición se remonta a la antigüedad. Se trata de un principio metafísico que se expresa con la locución latina *ex nihilo nihil* (nada surge de la nada). La segunda impresión produce excitación, porque al observar el diseño parece que podría funcionar, lo que daría lugar a una revolución científica al descubrir una falla en las leyes de la termodinámica. La tercera

impresión diluye la excitación y hace que uno retorne al escepticismo original porque invariablemente se encuentra alguna falla en el diseño.

En los párrafos que siguen se expondrán algunas máquinas de movimiento perpetuo que se diseñaron a lo largo de la historia, ordenadas en forma cronológica, y se intentará explicar, de la manera más simple posible, por qué no funcionan.

Las máquinas de movimiento perpetuo desde la antigüedad

Rueda desbalanceada

El diseño más antiguo y del que se han hecho más variaciones a lo largo de la historia es el de la rueda desbalanceada. La base de la rueda desbalanceada está en la ley de la palanca. Una varilla con dos pesos iguales en los extremos se coloca en forma horizontal sobre un punto de apoyo que está en el centro. Como los pesos y los brazos de palanca son iguales, la varilla estará en equilibrio y no se moverá. Si el peso de la izquierda se desplaza un poco hacia el centro, la varilla empezará a rotar y, luego de algunas oscilaciones, la pesa más alejada quedará colgando hacia abajo. Ahora, en lugar de una varilla, se colocan varias que forman los rayos de una rueda. Mediante algún mecanismo, se hace que las pesas a la derecha de la rueda estén en el extremo de cada varilla mientras que las que están a la izquierda se desplazan un poco hacia el centro. Esta rueda estaría permanentemente desbalanceada y nunca dejaría de rotar.

El primer registro de una máquina de movimiento perpetuo es del astrónomo y matemático indio Brahmagupta, del siglo VII. Se trata de una rueda desbalanceada con rayos huecos llenos hasta la mitad de mercurio. Otros astrónomos de la India produjeron variaciones de esta rueda: Lalla en el siglo VIII y Bhaskara II en el siglo XII. El diseño de Bhaskara, que se muestra en la

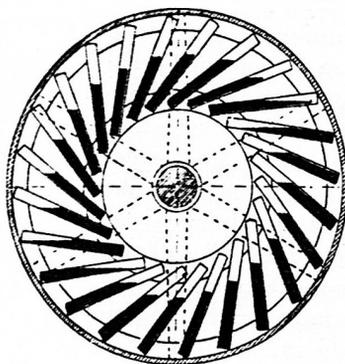


Fig. 2. Rueda de Bhaskara, siglo XII, India. Los rayos de la rueda son huecos y están llenos hasta la mitad de mercurio. Por la inclinación de los rayos, la rueda, en teoría, debería girar en el sentido de las agujas del reloj.

figura 2, está inspirado en la Dharma Chakra, o rueda de la ley, uno de los símbolos más importantes de la India (aparece en el centro de su bandera) que representa el eterno ciclo de muerte y renacimiento. El objetivo de Bhaskara parece haber sido dotar a la Dharma Chakra de movimiento perpetuo para transformarla en un símbolo más completo de eternidad. La rueda está formada por rayos huecos e inclinados como se ve en la figura 2. Cada rayo está lleno hasta la mitad de mercurio. Debido a la inclinación de los rayos, a la derecha de la rueda el mercurio se aleja del centro mientras que, a la izquierda, se acerca. Estos desplazamientos producirían diferencias de brazo de palanca que harían rotar la rueda en el sentido de las agujas del reloj. ¿Por qué no funciona? Si se observan los tubos que están justo abajo y arriba del eje se verá que, en ambos casos, el mercurio está desplazado a la izquierda. Esto hace que en la mitad izquierda de la rueda siempre haya un poco más de mercurio que en la mitad derecha. Esta diferencia compensa exactamente el desbalance debido

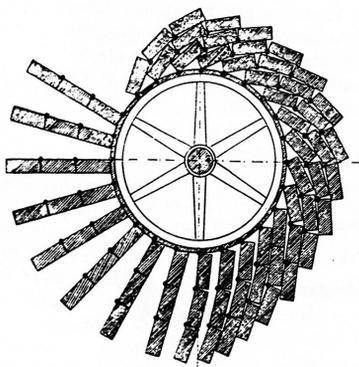


Fig. 3. Rueda árabe, siglo XIII. Los brazos extendidos a la izquierda harían girar la rueda en sentido opuesto a las agujas del reloj, pero se acumula más masa a la derecha que equilibra la diferencia del brazo de palanca.

a las diferencias de brazo de palanca. La rueda árabe de la figura 3 tiene problemas similares a los de la de Bhaskara.

En occidente, el diseño más antiguo conocido es el de Villard de Honnecourt, un arquitecto francés del siglo XIII (figura 4). La idea de Honnecourt es simple y la razón por la que falla es bastante clara. También entra dentro de la categoría de ruedas desbalanceadas. Se tiene una rueda con pesos adosados a lo largo de su circunferencia. Villard aclara que el número de pesos debe ser impar. Si se traza una línea vertical que pase por el eje de la rueda, debido a que el número de pesos es impar, siempre habrá un peso más en alguno de los costados. Esta diferencia mantendría a la rueda en movimiento perpetuo. Lo que sucede es que la rueda termina deteniéndose con uno de los pesos en su parte más baja, justo en el centro, e igual cantidad de pesos a ambos costados. También podría suponerse que los brazos de los pesos, con forma de martillos, están adosados a la rueda de tal forma que mantienen los pesos más alejados a uno de los costados de la

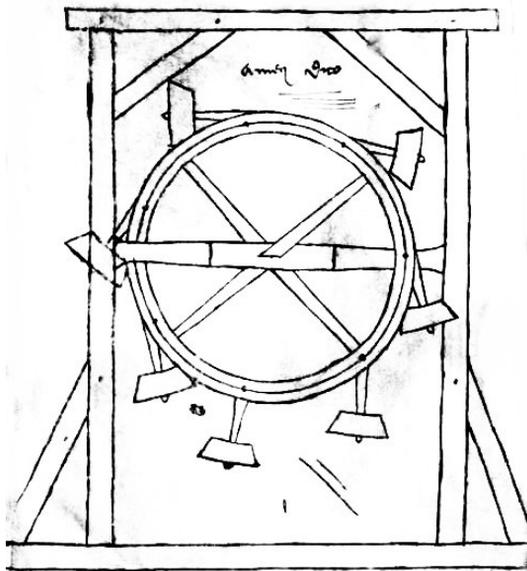


Fig. 4. Rueda desbalanceada, dibujo de Villard de Honnecourt, c. 1230. La rueda tiene un número impar de pesos a lo largo de su circunferencia.

rueda. Se trataría de un diseño muy similar a la rueda árabe de la figura 3, y con sus mismos defectos.

Leonardo da Vinci, entre los siglos XV y XVI, dibujó algunas variantes de ruedas desbalanceadas y dedicó tiempo a su estudio. Aunque Leonardo carecía de las herramientas teóricas que se desarrollaron durante el siglo XIX, llegó a la conclusión de que esos diseños no podían funcionar y explicó esta imposibilidad utilizando argumentos similares a los que se presentan acá. Manifestó su escepticismo en los siguientes comentarios:

Oh, buscadores de movimiento perpetuo, ¿cuántas quimeras vanas han perseguido? Vayan y tomen su lugar junto a los alquimistas.

También dijo,

Los que quieren enriquecerse en un día, viven todo el tiempo en la pobreza,... como los ingenieros que quieren que el agua muerta dé vida a sí misma con movimiento perpetuo.

En este último comentario se refiere a un tipo diferente de máquina: los molinos de recirculación.

El molino de recirculación

Estos molinos utilizan un tornillo de Arquímedes para elevar agua que, al caer, mueve una rueda de molino que, a su vez, activa al tornillo que eleva el agua.

Las figuras 5, 6 y 7 muestran algunos diseños del siglo XVII, del ingeniero y arquitecto alemán Georg Böckler.

Robert Fludd fue un médico, alquimista, astrólogo, filósofo y místico inglés del siglo XVII. Publicó un libro con diseños de molinos de recirculación, como el de la figura 8. La columna de la derecha es una bomba de agua con una cadena de discos de cuero que encajan perfectamente en su interior. El agua sube, se desplaza por la canaleta y mueve la rueda de la izquierda que, a través de distintos engranajes, mueve también la bomba de agua. Fludd atribuía este diseño a “cierto italiano” y era bastante escéptico acerca de su posible funcionamiento. Escribió:

El italiano, engañado por sus propios pensamientos, concibió que tanta agua sería bombeada como la necesaria para mantener la rueda perpetuamente en movimiento (...); pero dado que calculó las proporciones de potencia en forma equivocada, se engañó en la práctica (...)

Es innecesario precisar que este atractivo principio se ha ensayado varias veces por gente que a menudo era totalmente inexperta en principios mecánicos, y que no vio el serio error de estos dispositivos, y por lo

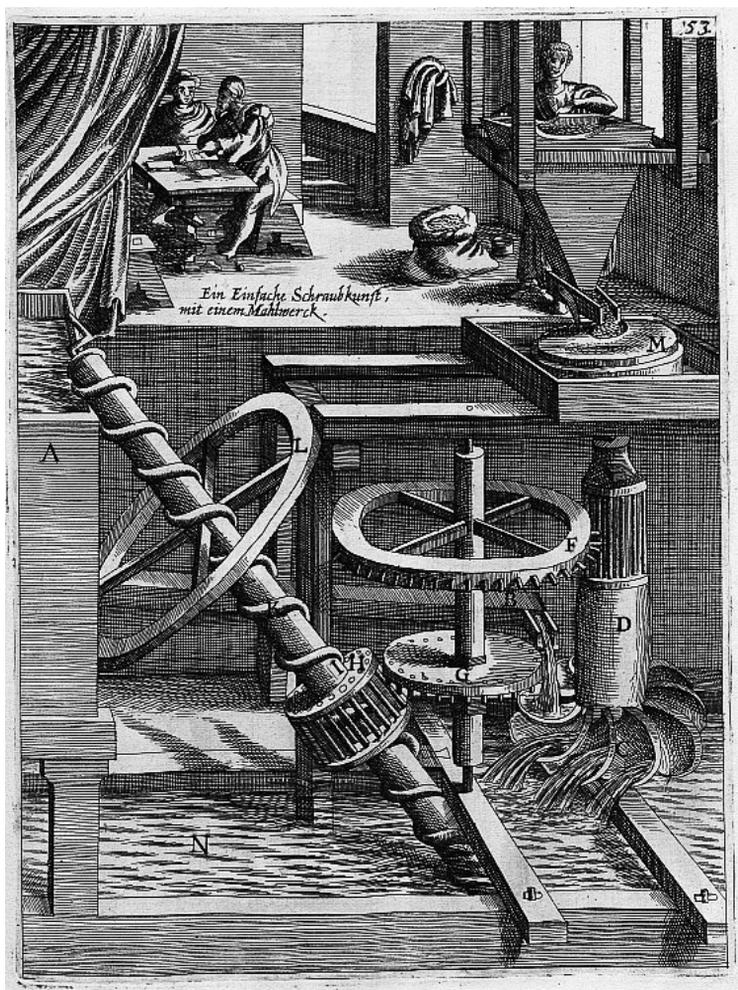


Fig. 5. Molino activado por agua que cae. Al caer, el agua también hace girar un tornillo de Arquímedes que la vuelve a subir. (Böckler, 1661.)

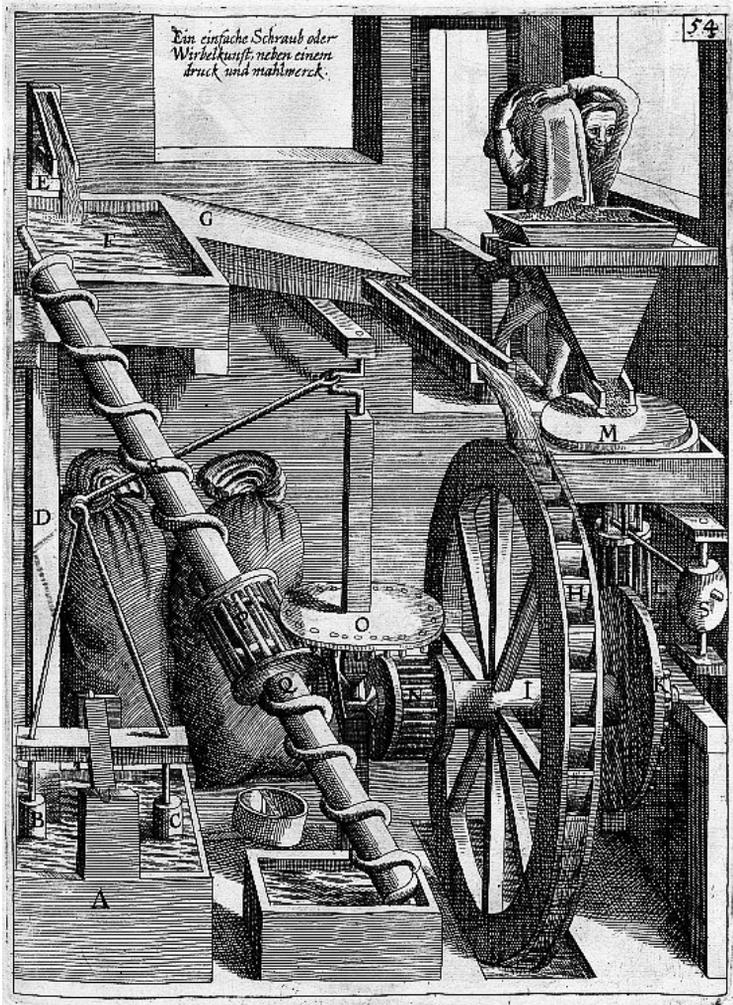


Fig. 6. Otro molino activado por agua. Como en el ejemplo anterior, el agua, al caer, activa mecanismos que hacen que se eleve a sí misma. En este caso, además de un tornillo de Arquímedes, hay una bomba que funciona en paralelo. (Böckler, 1661.)

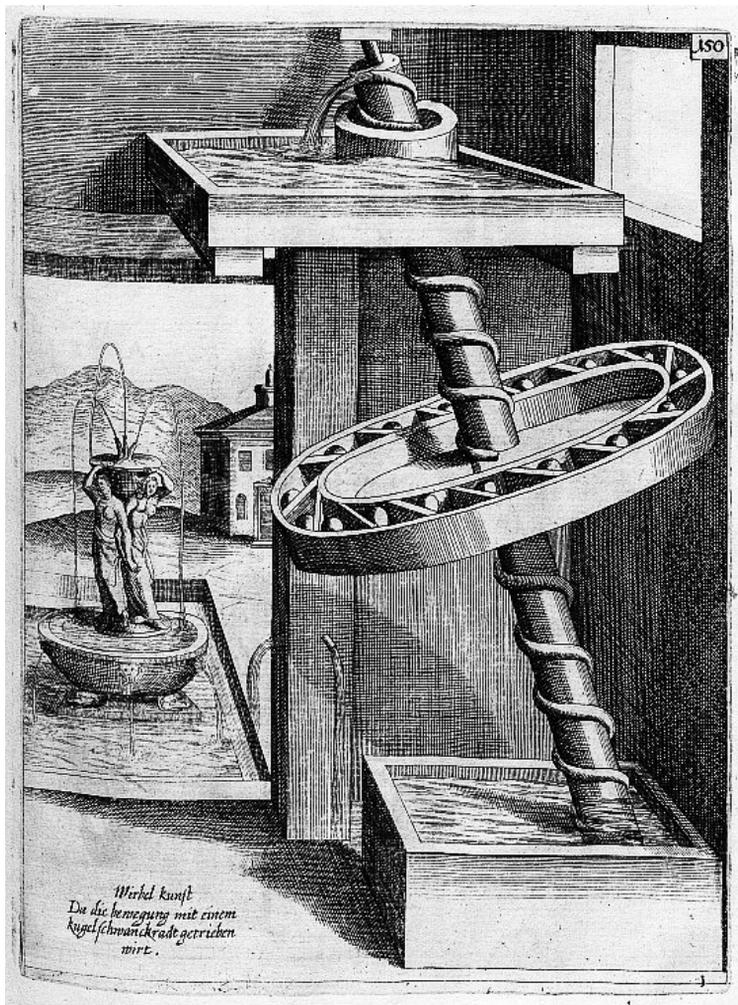


Fig. 7. Fuente de agua activada con movimiento perpetuo. El motor de la fuente es una rueda desbalanceada que hace girar un tornillo de Arquímedes. La inclinación del tornillo parece insuficiente, pero ese sería el menor de los defectos. (Böckler, 1661.)

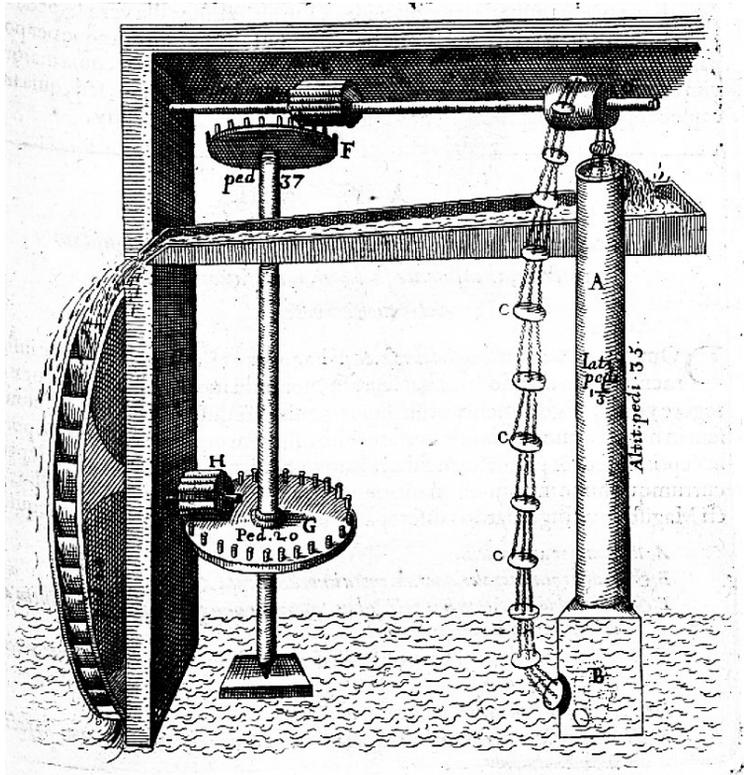


Fig. 8. Otro ejemplo de molino de recirculación, de un libro de Robert Fludd, siglo XVII. El agua que cae por la canaleta hace girar una rueda que, por medio de engranajes, activa una bomba que eleva el agua a su altura original.

tanto desperdició esfuerzo, dinero y tiempo en ideas viejas y sin valor.

Algunos de estos diseños fueron patentados en Gran Bretaña durante el siglo XIX, los mismos que Fludd, dos siglos antes, había considerado como ideas viejas y sin valor.

Máquinas magnéticas

Athanasius Kircher fue un jesuita alemán que enseñó en Roma y que llegó a ser comparado con Leonardo da Vinci por la gran amplitud de sus intereses. En 1643 publicó *Magnes sive de arte magnetica opus tripartitum*, donde presenta cuatro diseños de máquinas magnéticas de movimiento perpetuo. Poco después, en 1648, John Wilkins, obispo y matemático inglés fundador de la British Royal Society, presentó una máquina magnética en su libro *Mathematical Magick*. La figura 9 muestra un esquema de Wilkins. El mismo diseño había sido publicado por Kircher pero, por alguna razón, la bibliografía sobre movimiento perpetuo suele atribuirlo a Wilkins. La esfera sobre el pilar, a la izquierda, es un imán. Sobre la rampa, en el punto F , hay una esfera metálica más pequeña. Por la atracción magnética, la esfera pequeña sube la rampa hasta que llega al punto E , donde hay un agujero por el que cae por la fuerza de gravedad. La esfera recorre el camino inverso por la rampa curva inferior hasta llegar al punto inicial, donde vuelve a subir atraída por el imán. Lo que en la práctica sucede es que, si el imán es lo suficientemente fuerte, la esfera no cae por el agujero sino que queda pegada al imán. Si, en cambio, la atracción magnética no es tan intensa, la esfera cae por el agujero pero la acción del imán continúa de modo que la esfera no llega a recorrer todo el camino de vuelta y se detiene en algún punto intermedio de la rampa inferior. Wilkins conocía la existencia de estas dificultades, sin embargo se mantenía optimista acerca de la posibilidad de que, en el futuro, se lograra el movimiento perpetuo con un dispositivo magnético:

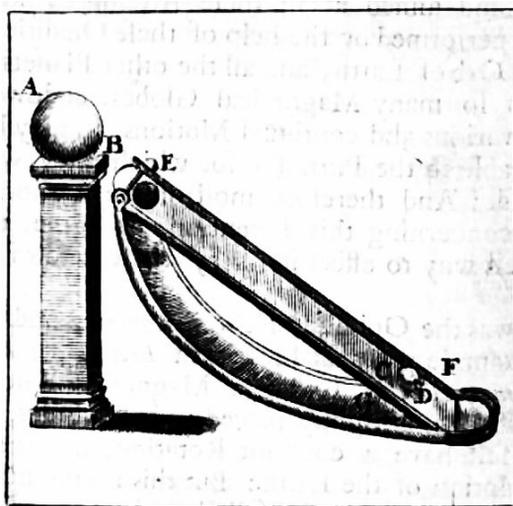


Fig. 9. Máquina magnética de Wilkins, siglo XVII. La esfera grande, arriba a la izquierda, es un imán que atrae a la esfera metálica pequeña en el punto *F*. Se supone que la esfera pequeña debería caer por el agujero en el punto *E* y repetir el circuito indefinidamente.

Ninguno de estos experimentos magnéticos que han sido hasta ahora descubiertos son suficientes para realizar movimiento perpetuo, aunque estas cualidades parecen las más adecuadas para alcanzarlo, y quizá, en algún momento, pueda ser obtenido de ellas.

En el siglo XIX surgió la posibilidad de hacer funcionar esta máquina con una modificación: reemplazar el imán por un electroimán. Ahora, cuando la esfera cae por el orificio *E* atraída por el electroimán, toca un interruptor que lo desconecta, de modo que, empujada sólo por la fuerza de gravedad, llega hasta el punto inicial abajo a la derecha, donde toca otro interruptor que enciende el electroimán y vuelve a subir. La máquina funciona pero, por supuesto, no es de movimiento perpetuo. No es una máquina autónoma porque requiere una fuente de energía

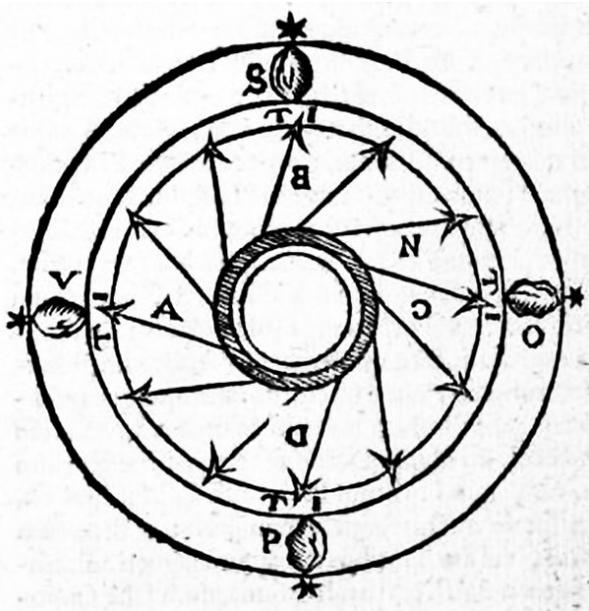


Fig. 10. Máquina magnética de Kircher. Las cuatro piedras imán ubicadas en el círculo exterior producirían fuerzas sobre la rueda en el sentido de las flechas.

externa que es la batería que alimenta al electroimán. Un timbre funciona de la misma forma.

En la figura 10 se muestra un diseño del libro de Kircher. Hay cuatro imanes, indicados con las letras S, O, P y V. Se supone que los imanes producen fuerzas sobre la rueda del centro en el sentido de las flechas. En la práctica, las fuerzas magnéticas se comportan de forma más compleja y menos intuitiva. Si las flechas son metálicas, el imán las atrae sin importar si apuntan hacia él o en sentido contrario. El efecto neto serán fuerzas que pasan por el eje y que no producen rotación. Las dificultades que existen en comprender intuitivamente los detalles de la interacción magnética indujeron a suponer, como hizo Wilkins, que se-

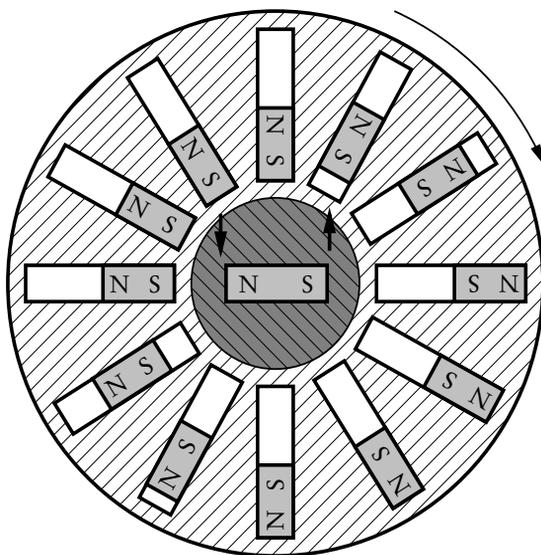


Fig. 11. Rueda desbalanceada con imanes. Se supone que gira en el sentido de las agujas del reloj, pero las fuerzas magnéticas entre los imanes más cercanos se oponen a ese movimiento.

ría el tipo de fuerza más adecuado para lograr movimiento perpetuo. Esta suposición equivocada es la que ha perdurado con más fuerza hasta el día de hoy. Un gran número de máquinas de movimiento perpetuo actuales pretenden utilizar la fuerza magnética. Incluso pueden verse videos en Internet de máquinas que en apariencia funcionan. Ninguna ha superado un control riguroso. Un ejemplo más sirve para ilustrar los errores típicos de esta clase de diseños. La figura 11 es una rueda que, en apariencia, se mantiene desbalanceada gracias a imanes. La rueda tiene ranuras con imanes que se pueden desplazar en la dirección radial. En el centro, sobre el eje, hay un imán fijo. Polos iguales se repelen, polos distintos se atraen. Los imanes de la derecha se alejan del centro, y los de la izquierda se acercan. El peso de los

imanes haría rotar la rueda. En realidad, el mismo imán central frena la rotación. El cuarto superior izquierdo de la rueda tiene los imanes más cercanos al eje y los que más interactúan con el imán central con una fuerza de atracción. Esta fuerza, junto a la repulsión de los polos sur del lado derecho de la rueda, se opone a la rotación esperada. El resultado final es que la rueda no gira.

Una máquina de origen marplatense conocida como “transgenerador magnético” fue presentada en medios de comunicación de Argentina en 2004 como una especie de milagro tecnológico capaz de alimentar de energía gratis y no contaminante a autos, aviones, barcos, etc. En Internet pueden hallarse videos y planos. La descripción ni siquiera exhibe una idea clara que pueda dar alguna esperanza de que funcione. La falta de claridad es un recurso frecuente para ocultar errores. Luego de diez años, las promesas no se han cumplido.

Capilaridad

Una de las principales motivaciones para la búsqueda de una máquina de movimiento perpetuo ha sido la observación del movimiento perpetuo natural. La naturaleza siempre está en movimiento, ¿por qué no intentar reproducirlo con una máquina? Un ejemplo es el fluir de los ríos, que puede aumentar o disminuir dependiendo de las estaciones, pero nunca cesa. El proceso completo es conocido como ciclo del agua: los rayos del sol evaporan agua de la superficie de lagos y mares, el vapor forma nubes, las nubes producen lluvia que alimenta a los ríos, los ríos fluyen a lagos y mares, y el ciclo se repite. No se trata de un movimiento perpetuo en el sentido que se usa aquí porque es necesaria una fuente de energía externa: el sol. Esta explicación del ciclo del agua, que hoy se aprende en las escuelas, parece simple. Sin embargo, no es obvia y tiene aspectos complejos que no se analizarán aquí. A la humanidad le ha llevado bastante tiempo descubrirla. Una de las razones es que, a simple vista, no pare-

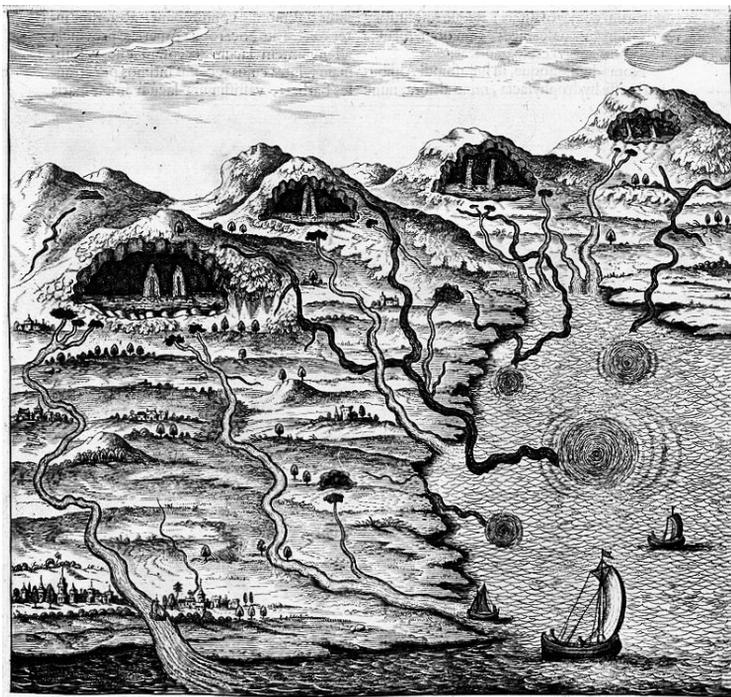


Fig. 12. Ilustración de A. Kircher sobre el ciclo del agua, siglo XVII. En los lagos se forman remolinos debido a que el agua es absorbida en los lechos y conducida, a través de los canales oscuros subterráneos, hasta el interior de las montañas, donde surge como manantiales y regresa a los lagos a través de arroyos y ríos. Los cortes ilustran la creencia de que el agua era conducida a reservorios dentro de las montañas.

ce posible que la evaporación sea suficiente para alimentar a los ríos de la Tierra. En el siglo XVII, la explicación era distinta. En la figura 12 se reproduce un dibujo de Athanasius Kircher. La imagen ilustra la teoría popular de su época acerca del ciclo del agua. El agua de los lagos es absorbida desde el fondo formando remolinos. En el lecho del lago el agua se introduce en canales

subterráneos, de color negro en la figura, que ascienden hasta las montañas, donde el agua surge en forma de manantiales que forman ríos que desembocan en el lago y el ciclo se completa. La pregunta inmediata es: ¿cómo puede el agua ascender por sí sola la altura de una montaña? La respuesta de la teoría es: por capilaridad. En un tubo capilar el agua asciende una altura de sólo algunos centímetros. Pero aún suponiendo que el agua pudiera subir una montaña por capilaridad, al llegar a la cima no manaría pues la misma fuerza de capilaridad le impide surgir.

Estos argumentos se aprecian más claramente con un experimento a escala de laboratorio. Robert Boyle fue uno de los científicos más brillantes de la historia y es recordado, principalmente, por haber propuesto la ley de los gases en el siglo XVII. Boyle, quizá inspirado por la teoría del ciclo del agua de su época, propuso la máquina de movimiento perpetuo de la figura 13. El agua asciende por capilaridad por el tubo que se curva en la parte superior. El agua cae por el extremo del tubo y puede realizar trabajo como, por ejemplo, mover una rueda. El efecto de capilaridad tiene su origen en una fuerza de atracción entre el tubo y el agua: el agua sube porque las paredes del tubo tiran de ella hacia arriba. Pero el mismo efecto existe en el extremo del tubo desde el cual supuestamente el agua debería caer. El agua no cae porque la misma fuerza de capilaridad la retiene.

La rueda desbalanceada no fue olvidada. Durante los siglos XVIII y XIX se diseñaron varios modelos nuevos, cada vez más complejos. Todos pueden considerarse variantes, más o menos sofisticadas, de las ideas de Brahmagupta, Lalla y Bhaskara. La repetición de intentos similares a lo largo de la historia es un indicio de lo atractivo que resulta la idea. Las causas son, quizá, la sencillez de los diseños y la impresión de que el éxito está al alcance de la mano; sólo falta una pequeña modificación o reducir un poco la fricción. Pero ninguna modificación ha funcionado y la fricción nunca es el problema principal. Incluso imaginando

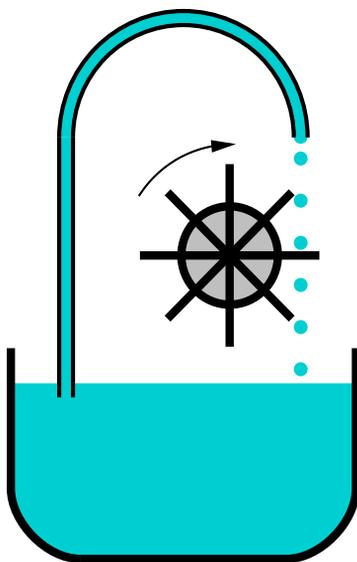


Fig. 13. Máquina de capilaridad de Boyle, siglo XVII. El agua asciende a lo largo del tubo por efecto de la capilaridad. Luego cae por gravedad y hace girar una rueda. En la práctica, la misma fuerza de capilaridad impide al agua caer.

la ausencia de fricción, los diseños no funcionan.

El concepto de energía y la primera ley de la termodinámica

Durante el siglo XIX se desarrollaron las herramientas teóricas necesarias para poder analizar las máquinas que funcionan en forma cíclica. Un paso importante fue dado por Thomas Young, considerado el primero en utilizar el concepto de energía en el sentido moderno, en 1807. Los intereses de Young eran amplios. Su nombre aparece al estudiar elasticidad de un cuerpo, caracterizada por el “módulo de Young”, o la interferencia de la

luz, en el “experimento de Young”. Fue también él quien dio los primeros pasos para descifrar los jeroglíficos egipcios.

Existen dos tipos básicos de energía: la potencial y la cinética. Un cuerpo tiene energía potencial si tiene la capacidad latente de entrar en movimiento. Por ejemplo, una pelota que se encuentre a dos metros de altura tiene mayor energía potencial que otra que se encuentre al ras del piso solo por tener la capacidad de caer. Dentro de nuestros cuerpos también existe esta capacidad latente de entrar en movimiento, y lo mismo se tiene en el tanque de nafta de un automóvil. Este último tipo de energía es más comúnmente llamada energía química. En física, el término “energía potencial” tiene un significado más restringido y sólo se refiere a las situaciones en las cuales dicha energía puede expresarse en función de la posición del cuerpo en el espacio, como en el caso de la pelota que está a una altura determinada. En el caso de la energía en nuestros cuerpos o en el tanque de un auto la situación es más compleja, sin embargo también podemos referirnos a este tipo de energía como “potencial” en el sentido más amplio mencionado antes, o sea, como la capacidad latente de entrar en movimiento. Pero un cuerpo tiene energía no sólo por tener la capacidad de moverse sino también por estar moviéndose. Este tipo de energía es la cinética. Cuando la pelota cae, su energía potencial disminuye porque pierde altura, pero aumenta su energía cinética, porque gana velocidad, de modo tal que la suma de las dos se mantiene constante. Luego de algunos rebotes, la pelota se queda quieta en el suelo. ¿Qué sucedió con la energía que tenía? Aunque la pelota parezca estar completamente quieta, en realidad se está moviendo. Pero ahora, en lugar de tratarse de un movimiento ordenado de toda la pelota, es un movimiento desordenado a nivel microscópico de las moléculas que la componen. Si pudiéramos ver a escala atómica veríamos que los átomos y moléculas de la pelota se están sacudiendo más violentamente que antes de caer. Este aumento del movimiento a nivel microscópico puede ser detectado como un cambio

de temperatura. En un ejemplo como el de la pelota, el cambio de temperatura es muy pequeño, pero puede ser detectado con los instrumentos adecuados. La energía cinética del movimiento desordenado a nivel microscópico es más comúnmente llamada energía térmica.

En 1842, el médico alemán Julius von Mayer propuso una de las leyes más importantes de la física: la ley de conservación de energía, también conocida como la primera ley de la termodinámica. La propuesta de Mayer fue apoyada y confirmada por trabajos casi simultáneos de James Joule. La energía puede transformarse de un tipo a otro, pero la suma siempre se mantiene constante. Esta ley prohíbe la creación de una máquina de movimiento perpetuo, pues tal máquina crearía energía de la nada (se trata, en general, de energía cinética del movimiento de, por ejemplo, una rueda como en la figura 1).

¿Por qué confiar en las viejas leyes de la física y no en una teoría novedosa y revolucionaria? A principios del siglo XX un inventor presentó una máquina de movimiento perpetuo en la oficina de patentes de Argentina. Se le contestó con una nota que decía que su máquina violaba principios fundamentales de la mecánica y la hidráulica. Él respondió diciendo: “Las leyes mecánicas e hidráulicas no son importantes pues estoy convencido de mi teoría”. El origen de esta disputa está en la diferencia de criterios para determinar qué es lo verdadero. El criterio que se utiliza en ciencia para determinar la veracidad de una afirmación es el de la comprobación experimental. Se acepta como verdadera la ley de conservación de energía no porque von Mayer haya sido un científico prestigioso —de hecho no lo era— ni porque tal ley haya sido impuesta por una ortodoxia, sino únicamente porque todos los experimentos la confirman. Cada vez que se hacen mediciones cuidadosas la naturaleza *siempre* se comporta de acuerdo con la ley de conservación de energía. Otro argumento importante a favor de la conservación de energía es que esta ley permaneció inmutable luego de las revoluciones de la

relatividad y la mecánica cuántica del siglo XX. Lo mismo sucedió con la segunda ley de la termodinámica, de la que se hablará más adelante. Todas las fuerzas de la naturaleza (eléctrica, magnética, gravitacional y nucleares) se comportan de tal forma que conservan la energía. La única forma de construir una máquina de movimiento perpetuo sería utilizando un tipo de fuerza totalmente distinta de las conocidas y jamás observada.

Algunas máquinas patentadas

Desde 1775, antes de que se establecieran las leyes de la termodinámica, la Academia de Ciencias de Francia rechazaba con testar cualquier propuesta sobre máquinas de movimiento perpetuo. Según un artículo de la Enciclopedia Británica, de 1999, las oficinas de patentes de Gran Bretaña y Estados Unidos hace mucho tiempo que dejaron de considerar presentaciones de máquinas de movimiento perpetuo. Estas afirmaciones, junto con las leyes de la termodinámica, inducen a pensar que el afán por construir máquinas de movimiento perpetuo se ha desvanecido y que sólo tienen un interés histórico. La situación actual, en realidad, no es así. Con ciertas limitaciones, se siguen patentando máquinas de movimiento perpetuo, aunque esas patentes son más un certificado de cierta originalidad más que una garantía de funcionamiento. En el sitio web de Simanek (ver la bibliografía) se puede encontrar una larga lista de patentes, la última es de 2004, no solo de Estados Unidos sino también de Francia, Alemania y Gran Bretaña.

En 1976 se patentó en Estados Unidos un “generador de energía por desplazamiento de fluidos impulsado gravitacionalmente”. Consistía en un conjunto de cilindros adosados a una cinta sin fin con pistones que permitían la entrada y salida de agua de modo que los cilindros de la izquierda estuvieran llenos de aire y los de la derecha llenos de agua. En teoría, la flotabi-

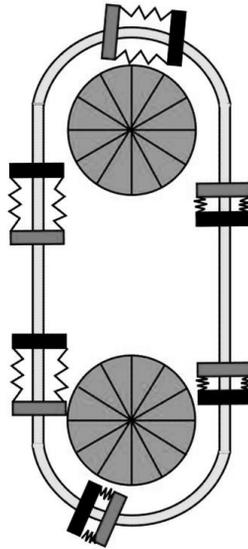


Fig. 14. Máquina patentada en Argentina, en 1913. Está sumergida en agua y los fuelles contienen aire. El extremo gris de cada fuelle es una pesa móvil. Los fuelles del lado derecho están comprimidos y los del izquierdo se inflan, flotan y, en teoría, hacen rotar a la máquina en el sentido de las agujas del reloj.

lidad de los cilindros hace rotar la máquina. En la práctica, la máquina no funciona ni siquiera suponiendo la ausencia de rozamiento en todos sus componentes. Pero este defecto no es, quizá, el más grave. Su otro defecto es que no es original. Fue patentada antes, en 1913, en Argentina, con una modificación: en lugar de cilindros con pistones usa fuelles, como se ve en la figura 14. Los extremos negros de los fuelles están fijos a lo largo de la cinta sin fin. Los extremos grises son pesas que se pueden desplazar inflando y desinflando los fuelles, de modo que los de la izquierda flotan y los de la derecha se hunden. Sin embargo,

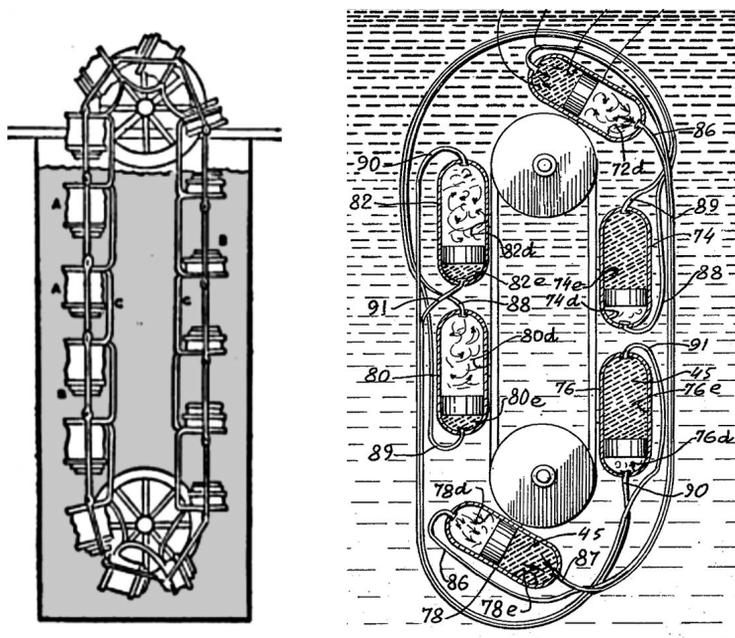


Fig. 15. Movimiento perpetuo por efecto de flotación. En ambos casos se supone que las ruedas giran en el sentido del reloj. El principio de funcionamiento es el mismo que el del diseño argentino de 1913, figura 14. El de la izquierda es un diseño británico de 1857; el de la derecha es estadounidense y más nuevo, de 1976, llamado “generador de energía por desplazamiento de fluidos impulsado gravitacionalmente.”

si se observan los fuelles que están justo arriba y abajo, se ve que sus pesos están desplazados a la izquierda. El exceso de peso del costado izquierdo compensa la flotabilidad de los fuelles. El resultado neto es que la máquina no se mueve. El diseño argentino no es tampoco el primero; antes, en el siglo XIX, existían modelos de este tipo y uno de ellos fue patentado en Gran Bretaña en 1857 (figura 15).

En resumen, se sabe que no es posible construir una máquina de movimiento perpetuo con la misma certeza con la que se sabe que las manzanas caen cuando se desprenden de los árboles. Sin embargo, lo único perpetuo de este movimiento parece ser la fascinación que produce. Algo que ha cambiado con el tiempo es el lenguaje. El término “movimiento perpetuo” tiene connotaciones negativas. Los inventores actuales prefieren hablar de “over-unity machine,” o máquina por sobre la unidad. El nombre indica que la máquina tendría una eficiencia mayor que uno. La eficiencia es el cociente entre la energía útil que la máquina entrega y la energía que consume, por lo tanto, si la eficiencia es mayor que uno se produciría más energía que la que se consume y se violaría la ley de conservación de energía.

La segunda ley de la termodinámica y máquinas del segundo tipo

En 1850, Rudolf Clausius propuso la segunda ley de la termodinámica:

El calor no puede por sí solo pasar de una fuente fría a una caliente.

Aunque uno jamás haya estudiado termodinámica, sabe que el calor sólo fluye de zonas calientes a zonas frías. La segunda ley es, quizá, la más intuitiva y la más conocida de las leyes de la física. Algunos años después, Kelvin y Planck propusieron un

enunciado que, aunque no lo parezca, es equivalente al de Clausius:

Es imposible que una máquina alimentada con cierta cantidad de calor produzca una cantidad igual de trabajo.

Decir que ambos enunciados son equivalentes significa que si el de Clausius es verdadero entonces también es verdadero el de Kelvin y Planck y, al revés, si el de Kelvin y Planck es verdadero entonces también lo es el de Clausius. La demostración de la equivalencia no es complicada y puede encontrarse en cualquier libro de física en el que haya un capítulo dedicado a la termodinámica. Al hablar de “máquina” el enunciado de Kelvin y Planck se refiere a un dispositivo que funciona en forma cíclica, o sea, luego de un ciclo el sistema vuelve a su situación inicial. Una máquina térmica tiene una zona caliente, donde se quema el combustible, por ejemplo el pistón del motor de un auto, y una zona fría donde se desperdicia parte de calor: el radiador. Lo que dicen Kelvin y Planck es que en el radiador siempre se desperdicia parte de la energía térmica que se genera en la combustión, y que el trabajo útil, lo que hace que el auto se mueva, será menor que la cantidad de energía consumida. En principio parece que hubiera una posibilidad de salir de este juego. Se puede demostrar que, si el radiador está lo más frío posible, entonces toda la energía térmica se podría transformar en trabajo útil, y la eficiencia sería igual a 1. Lo más frío posible significa 273°C bajo cero; esta temperatura también es llamada cero absoluto. Nada puede estar más frío que eso, pues a esa temperatura cesa el movimiento desordenado a nivel microscópico del que se habló más arriba (en realidad, no cesa por completo si se tienen en cuenta efectos cuánticos). Aquí es donde entra la tercera ley de la termodinámica, propuesta por Walther Nernst a principios del siglo XX, que dice justamente que no se puede alcanzar el cero absoluto. Un objeto puede estar muy frío, pero su temperatura

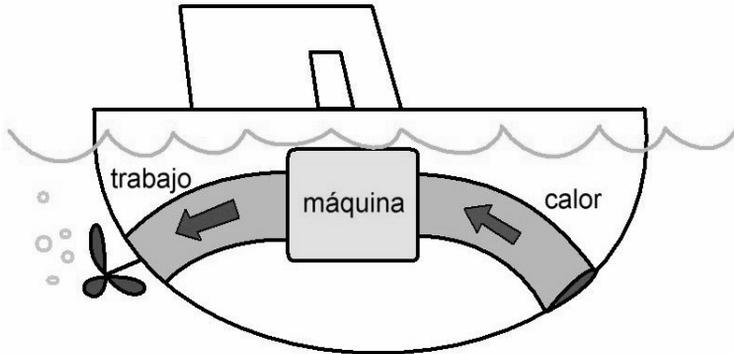


Fig. 16. La máquina que impulsa este barco toma la energía en forma de calor del agua de mar y la transforma en movimiento de la hélice. Según la segunda ley de la termodinámica, esta transformación es imposible.

nunca puede ser igual al cero absoluto, aunque pueda acercarse mucho. En conclusión, no se puede salir del juego, el enunciado de Kelvin y Planck es siempre válido y siempre se desperdicia algo de calor en el radiador.

La segunda ley posee una cualidad que la hace única entre todas las leyes fundamentales de la física. Sólo la segunda ley distingue pasado de futuro; dice que existen fenómenos que sólo se dan hacia adelante en el tiempo y es imposible que sucedan hacia atrás, como una película que se proyecta al revés. El calor sólo puede fluir de un cuerpo caliente a uno frío, y no al revés.

Una máquina de movimiento perpetuo del segundo tipo respeta la primera ley de la termodinámica, pero intenta violar la segunda. Aunque es menos ambiciosa que las máquinas anteriores, pues no pretende crear energía, de todos modos sería extraordinaria. Permitiría, por ejemplo, que un barco tome del mar la energía que necesita para moverse. En la figura 16 se muestra

un esquema de esta máquina. Toma calor del agua del mar y lo transforma completamente en trabajo útil: el movimiento de la hélice. El único deshecho sería agua fría.

Hay otra forma de ver esta violación del enunciado de Kelvin y Planck. Lo que está haciendo esta máquina es tomar una porción de agua de mar, que se encuentra a cierta temperatura y, de algún modo, ordena el desorden del movimiento a nivel microscópico. Fuerza a las partículas a moverse de forma ordenada en una dirección determinada manteniendo, por supuesto, la energía constante. Este movimiento ordenado se podría transmitir mediante paletas a un eje que movería la hélice del barco. La máquina, al transformar el movimiento del agua de desordenado a ordenado estaría bajando su entropía, la magnitud física con la cual se mide el desorden. Una tercera forma de expresar la segunda ley es diciendo que la entropía en un sistema aislado (como esta máquina) sólo puede aumentar o mantenerse constante, pero nunca disminuir.

Las máquinas de movimiento perpetuo del segundo tipo han sido propuestas, en general, con el objetivo de poner a prueba la segunda ley. Todos estos intentos han fracasado y la segunda ley mantiene su carácter de tal sobreviviendo incluso, como se dijo antes, a las revoluciones de la relatividad y la mecánica cuántica.

Las leyes de la termodinámica pueden resumirse de la siguiente manera:

1. No se puede ganar (como la energía se conserva, no se puede obtener algo de nada —J. Meyer).



2. No se puede empatar (la cantidad de trabajo que produce una máquina no puede ser igual a la cantidad de energía que consume —R. Clausius).



3. No se puede salir del juego (el cero absoluto es inalcanzable —W. Nernst).



En el caso de la segunda ley se ha utilizado el enunciado de Kelvin y Planck ilustrado con el retrato de Clausius, por haber sido él, como se mencionó antes, el primero en proponer un enunciado equivalente.

Conclusión

A pesar de las dificultades, de los fracasos, de las evidencias en contra y de las leyes de la física, los buscadores del movimiento perpetuo no se rinden y quizá nunca lo hagan. El movimiento perpetuo está asociado a un sueño de fuerza enorme: el de alcanzar algo que parece imposible. Un sueño que, en otras circunstancias, ha impulsado grandes logros. Las dificultades generan estímulo en los buscadores. Como las dificultades son tan grandes, el estímulo se hace irresistible. Por momentos surge el deseo de ponerse del lado de los soñadores y decirles que, si se esfuerzan, si trabajan duro, si de verdad creen en lo que buscan, lo encontrarán. Pero sería un error.

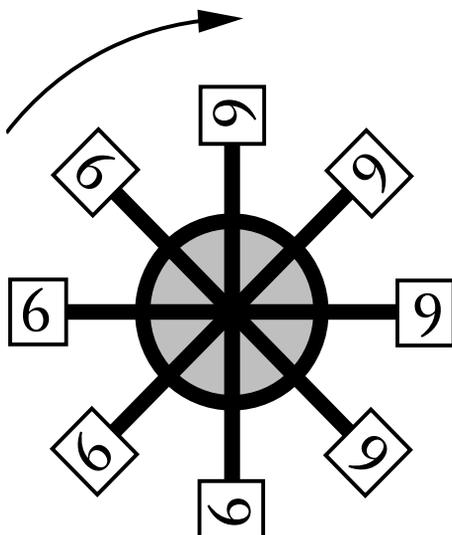


Fig. 17. Rueda desbalanceada de Gamow. A la derecha hay nueves, a la izquierda, seis. Hay 50% más del lado derecho, lo que hace girar la rueda en el sentido del reloj.

Las leyes de la termodinámica están tan bien establecidas como la ley de gravedad. Uno puede tener la esperanza de construir una máquina de movimiento perpetuo. Del mismo modo, uno puede arrojarse desde un décimo piso y tener la esperanza de no caer y violar la ley de gravedad. Las probabilidades de éxito son las mismas.

Sin embargo... Los diseños de máquinas de movimiento perpetuo tienen cierto encanto que atrapa incluso a los escépticos. Algunos de los diseños más interesantes han sido propuestos por científicos que no esperan verlos funcionar. En la figura 17 se muestra un bello diseño de este tipo, atribuido al físico George Gamow, de quien se hablará más en el capítulo siguiente.