



UN LIBRO
PARA
LOS NIÑOS

EDITORIAL SATURNINO CALLEJA - S. A.

36

PRECIO DE VENTA:

Ptas. 0,95

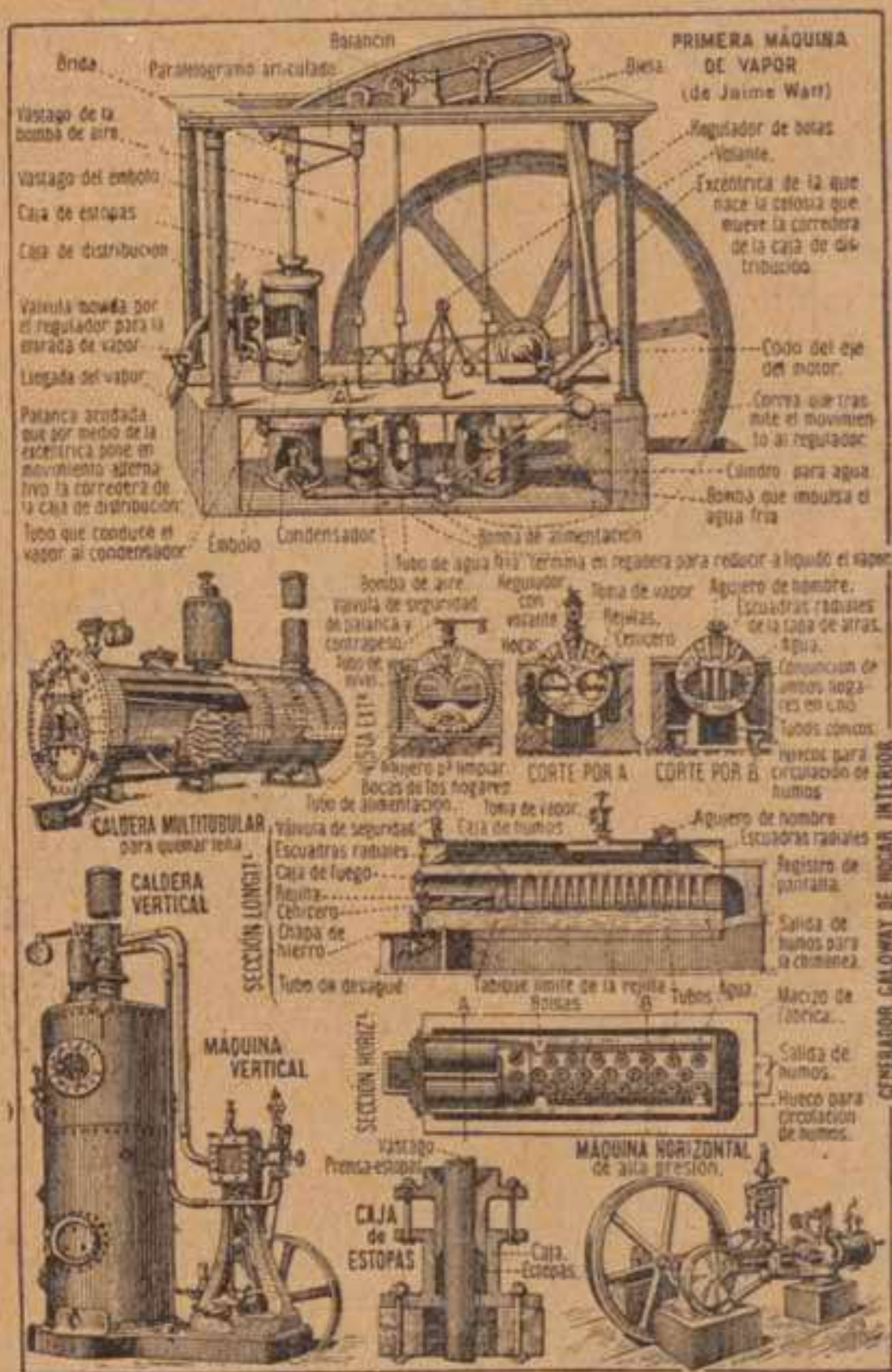
L. F. 356

UN LIBRO PARA LOS NIÑOS

EDICIÓN ECONÓMICA

De este libro hay dos ediciones.

CORRIENTE Y ECONÓMICA



Máquinas de vapor.

CALLEJA

U N L I B R O
P A R A L O S N I Ñ O S

EDICIÓN ECONÓMICA



R. 25449



M C M X X I I I

EDITORIAL "SATURNINO CALLEJA" S.A.

CASA FUNDADA EL AÑO 1870

M A D R I D

L. U. 356

PROPIEDAD
DERECHOS RESERVADOS
PARA TODOS LOS PAÍSES
COPYRIGHT 1923 BY
EDITORIAL «SATURNINO CALLEJA» S. A.

PRÓLOGO

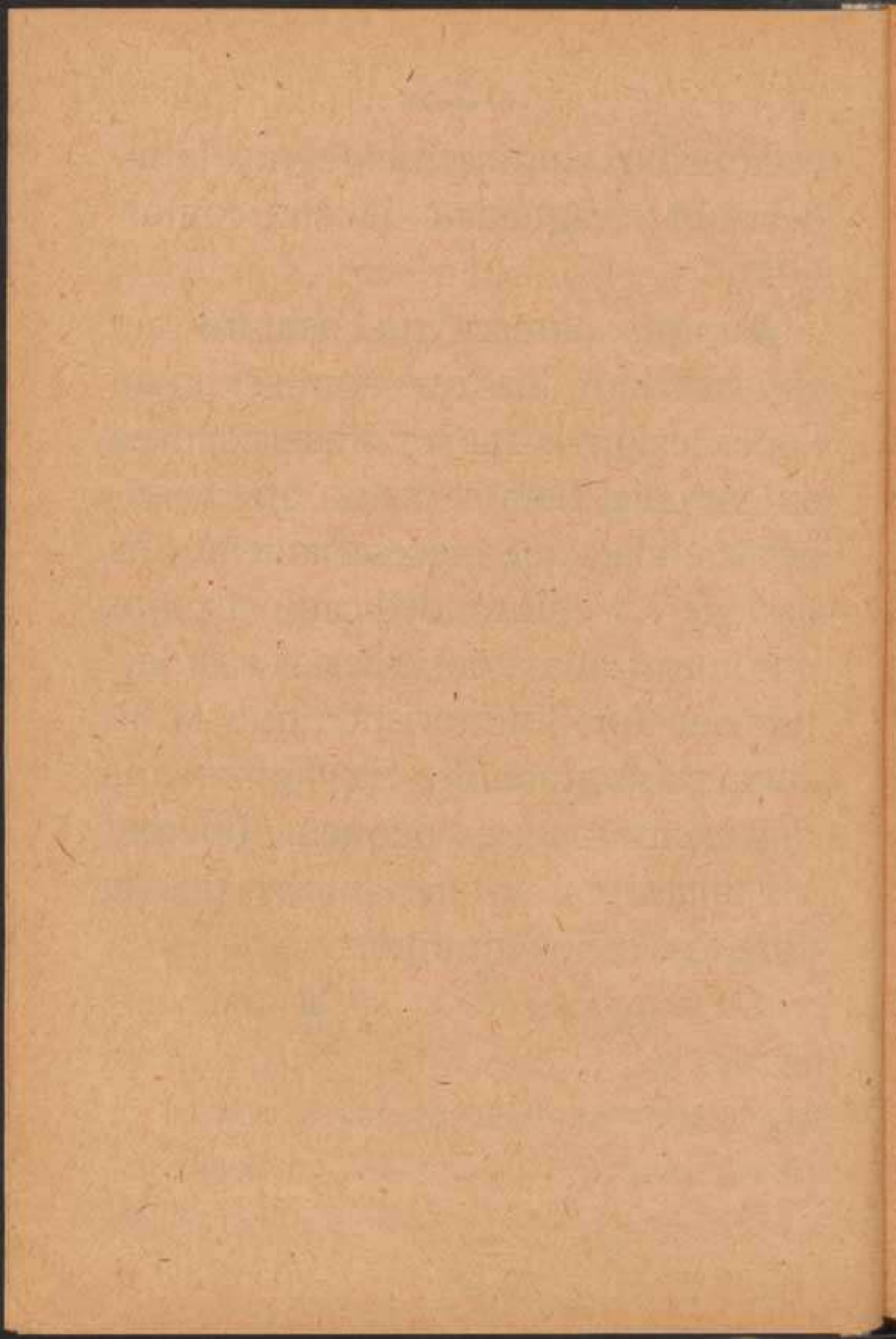
La presente obrita no es tanto una abreviación de la más extensa que lleva el mismo título, como una introducción a ella, y tiene por principal objeto, más que explicar las cosas, infundir y desarrollar el hábito de pensar sobre ellas y sobre las causas que las producen, como medio de ir allanando al niño la comprensión, tanto de las lecciones que pudiera recibir en adelante sobre materias pertenecientes a las ciencias físicas y naturales, como sobre otras más o menos directamente relacionadas con ellas. Puede, pues, considerarse-la como algo más elemental que la edición corriente y como una etapa

anterior en el largo camino que, partiendo de los albores de la enseñanza, lleva a aquel punto de ella en que comienza a ramificarse en las múltiples direcciones de la actividad humana, pero tomando especialmente por punto de mira los conocimientos relativos a los agentes de la Naturaleza y a sus aplicaciones a las artes y a las necesidades de la vida.

Si algunas veces, y particularmente al tratar de asuntos relacionados con la Mecánica práctica, se descien- de a menudencias de índole material que parecen impropias del espíritu y del plan de la obra, es por la imposibilidad de dar ideas sobre ella en la forma absolutamente abstracta que hubiéramos preferido emplear en toda la exposición, pero que le habría

oscurecido singularmente por la indecisión y vaguedad de sus contornos.

Aunque parezca que asuntos tan serios como los que aquí se tratan deben exigir la mayor austeridad en el lenguaje, hemos creído que la superficialidad que necesariamente ha de tener un libro dedicado a niños nos autorizaba a dar a veces a la lectura un tono humorístico que la hiciera más agradable. Esperamos que nos excusarán esta pequeña libertad los maestros, y que quizás nos la agradezcan los alumnos.



U N L I B R O P A R A L O S N I Ñ O S

I

—Cuéntame, Luisito, tu excursión de ayer tarde: ¿te divertiste mucho?

—Muchísimo, Carmencita. Me llevó papá a ver subir el globo y no perdí nada de lo que allí se hizo. Vi todos los preparativos, uno por uno, y seguí al globo con la vista cuando subió, hasta que apenas se le distinguía de alto que estaba. ¿Nunca has visto remontarse globos, Carmencita?

—Grandes como ese, no; pero de esos globos chicos de goma que se usan como juguetes, sí. De esos he tenido muchos. Recuerdo el último que tuve, que me lo compró mamá un día que salimos de paseo. No me duró ni siquiera una hora, pues el hilo con que lo llevaba sujeto se me escapó de la mano por un descuido, y el globito salió por el aire con el hilo colgando, y se remontó tanto, que lo perdí de vista.

—Pues hazte la cuenta—le dijo Luisito—de que has visto remontarse un globo grande; pues la razón de subir es la misma para los globos

grandes que para los chicos. Papá me estuvo explicando la cosa ayer tarde, y aunque ya tenía yo muchas noticias sobre ella, me vino muy bien lo



El primer globo aerostático.

La invención de los globos aerostáticos se debe a los hermanos José Miguel y Juan Esteban Montgolfier. Ensayaron públicamente su invento, por primera vez, en 1783. Los primeros globos eran de papel y se llenaban del aire caliente y humo producidos por la combustión de unas estopas empapadas en alcohol, que se ponían en una red de alambre que colgaba debajo de la boca del globo.

que me dijo, pues quedé mucho mejor enterado de lo que antes estaba: ¿sabes tú algo de eso, Carmencita?

—No mucho, pero más de lo que te figuras. Sé que los globos suben porque pesan menos que el aire. Si no hubiera aire, y soltáramos desde un balcón diferentes cosas pesadas y ligeras, como un globito, una pluma, una plancha de hierro, un almirez o unas tenazas, sé muy bien que todas ellas caerían al mismo tiempo, y que tardarían lo mismo en llegar al suelo de la calle. Si no hubiera aire, los globos no subirían, Luisito. Ya ves que no soy tan ignorante como a primera vista pudiera creerse.

Sostenían esta conversación Luisito y su hermana Carmencita en el despacho de don Juan, padre de ambos, que estaba sentado en un sillón, cerca de ellos, entregado a la lectura de los periódicos del día, pero lo bastante atento, no obstante, a las palabras de sus hijos, para que no se le escapase nada de lo que hablaban.

—No creía yo, efectivamente, que supieses tanto, Carmencita—prosiguió diciendo Luisito—, porque lo que has dicho es la pura verdad. Los globos suben porque pesan menos que el aire, o, diciéndolo de una manera clara y precisa, porque pesan menos que el aire que ocupara el mismo espacio que ellos ocupan. Lo que tú no sabes, me figuro, es cuándo se detendría un globo en su subida. ¿Crees tú que seguiría subiendo sin pararse nunca o que se detendría alguna vez?

—Pues mira, Luisito, se me ocurre que si el globo sube porque pesa menos que el aire, y que si pesase más que el aire se caería, tendrá que detenerse cuando llegue a encontrar aire que pese lo mismo que él; pues entonces no subirá ni bajará.

—¡Bueno!—replicó Luisito—; pero ¿crees tú que encontrará alguna vez aire que pese lo mismo que él?

—Creo que sí—contestó Carmencita—, porque a la vista tenemos nubes que no suben más arriba de donde las vemos, y tiene que ser porque el aire que las rodea pesa lo mismo que ellas. Muchas veces ocurre que hay nubes tan bajas, que tocan el suelo; y también he oído decir que desde las montañas se suelen ver nubes mucho más bajas que el lugar en que uno se encuentra, y eso tiene que ser por pesar esas nubes más que el aire que está por encima de ellas y menos que el aire que tienen debajo. Lo mismo que sucede con las nubes sucederá con los globos.

—Pero ¿tú sabes por qué, si el aire es todo igual, pesa más que las nubes aquí abajo, donde estamos, y lo mismo que las nubes allá arriba donde las vemos?—preguntó Luisito a su hermana.

—Me estás haciendo unas preguntas muy difíciles de contestar, Luisito; pero se me ocurre que si esas nubes se sostienen allá arriba y no bajan hasta nosotros, tiene que ser porque el aire de

arriba no es igual al de abajo, como has supuesto, sino que pesa menos que él.

El aire que respiramos debe de ser más grueso y más pesado que el que rodea a esas nubes altas que vemos; y el aire de unas alturas debe de ser distinto del de otras, y también debe de haber nubes más ligeras y más pesadas. Yo no encuentro, a lo menos, otra manera de explicarme que haya nubes más altas y más bajas, y hasta que las haya que toquen al suelo, como sucedé cuando hay esas nieblas espesas que no nos dejan ver a dos pasos.

¿Verdad, papá, que el aire de acá abajo debe de pesar más que el de allá arriba? — dijo Carmencita dirigiéndose a don Juan, que parecía estar en aquel momento más atento a lo que hablaban sus hijos que al periódico, que había dejado caer sobre sus rodillas.

—Éstás hablando, Carmencita, como una catedrática, o mejor diré como un catedrático, porque hoy no tenemos en España catedráticas ni doctoras, como antiguamente, que las teníamos capaces de dar quince y raya a los sabios de más campanillas.

Hoy se discute muy formalmente si las mujeres pueden ser o no académicas, que me parece lo mismo que si se discutiera si puede ser académico un sujeto que tenga las narices más largas o más cortas que lo ordinario, o que padezca de cuando en cuando de catarro, reúma o dolores de muelas; pero, en cambio, nadie se opone a

que las mujeres hagan mil trabajos rudos y fatigosos, y hasta que se echen fardos a cuestras —dijo don Juan.

Pues sí —prosiguió diciendo—, tienes razón al suponer que el aire de las regiones altas es más delgado, y que pesa menos, por consiguiente, que el de las bajas. Precisamente por ese motivo el aire de las alturas se coloca por sí mismo encima del de los valles, obedeciendo a la misma causa que obliga a los globos a remontarse.

El aire va sutilizándose por capas o zonas sucesivas de abajo arriba. El que se halla a las mayores alturas, y que se supone estar a sesenta o setenta leguas sobre nosotros, es sutilísimo, y acaba por desvanecerse por completo, comenzando, allí donde él acaba, la región del vacío.

Así como hay aire más grueso o más denso y más delgado o sutil, así también hay nubes más pesadas y más ligeras, y cada una busca el aire que pese lo mismo que ella para situarse.

Hay un gas, llamado ácido carbónico, que pesa más que el aire más grueso. Si en un recipiente se encierran juntos aire y ácido carbónico, el aire se coloca por sí mismo encima y el ácido carbónico se va a la parte inferior.

Si en una sala cerrada donde haya mucha gente se echa uno en el suelo correrá peligro de ahogarse, como sucede en la *Gruta del perro*, cerca de Nápoles, en cuyo ambiente, por hallarse cargado de gas ácido carbónico, mueren sofocados los perros, porque respiran el aire cercano del

suelo, y ningún malestar sienten las personas, porque respiran el aire que está a mayor altura.

—¿Y por qué hay ácido carbónico en una habitación donde haya mucha gente, y por qué lo hay en esa Gruta del perro que usted dice?—preguntó Carmencita.

—Vas a entenderlo al momento cuando te diga que el aire que respiramos y que forma nuestra atmósfera es una mezcla de un gas llamado *oxígeno*, otro llamado *ázoe* o *nitrógeno*, otro tercero llamado *ácido carbónico*, y vapor de agua.

Respiramos todos esos gases y vapores juntos, pero de ellos, el único que nos aprovecha, y con el cual nos quedamos es el oxígeno, el cual sirve para nutrir nuestro cuerpo, formando combinaciones con las sustancias que componen la sangre. El ázoe del aire no nos sirve para la vida, ni tampoco el ácido carbónico, y ambos los expulsamos al respirar.

De todos esos gases, el ácido carbónico es el más pesado, y se coloca por sí mismo en las partes más bajas, y por ese motivo, los lugares más cercanos al suelo de una sala donde haya mucha gente y no pueda renovarse el aire, estarán cargadísimos de ácido carbónico, que es irrespirable como os he dicho.

En la Gruta del perro, el ácido carbónico sale, por grietas o hendiduras de las entrañas de la tierra, que es allí extraordinariamente volcánica. Los volcanes lanzan al aire cantidades enormes de ese gas.

Con los líquidos sucede lo mismo que con los gases. Si se echa aceite en un vaso hasta cierta altura, y se echa agua encima del aceite, se advierte al cabo de un rato que el agua se ha ido al fondo y que el aceite se ha colocado por sí mismo en la parte de arriba, sobrenadando encima del agua, porque el aceite pesa menos que el agua.

La ley física llamada *principio de Arquímedes*, por haber sido el antiguo sabio griego de ese nombre el primero en enunciarla, se cumple siempre, con tal que las materias que estén en contacto tengan completa libertad para moverse.

Esa ley se expresa diciendo que *todo cuerpo pierde de su peso un peso igual al de su misma capacidad del líquido en que esté sumergido*.

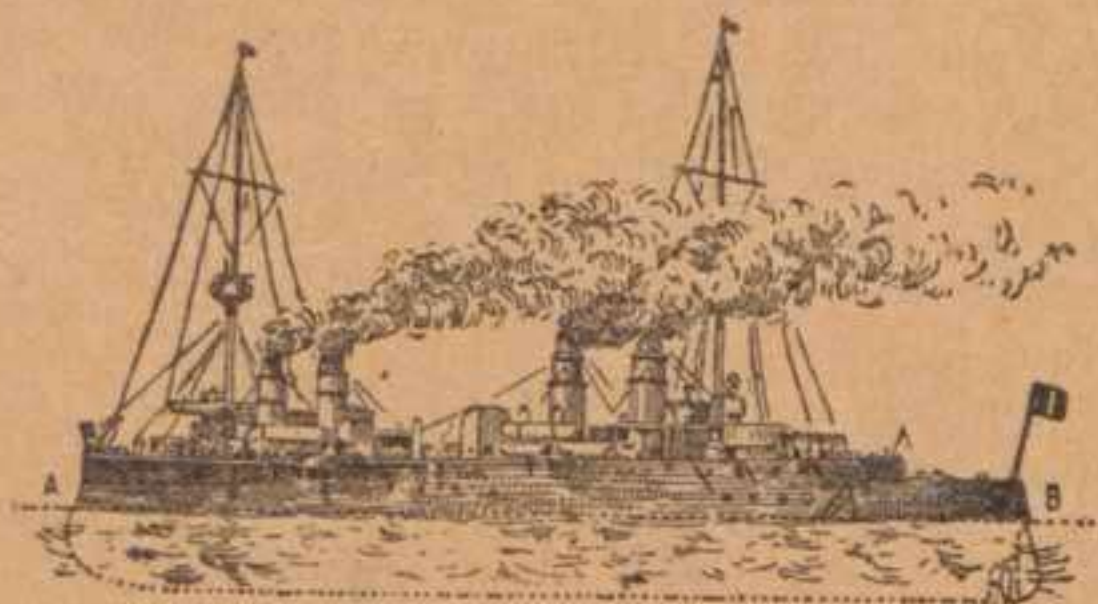
Ahora bien; si lo que un cuerpo pierde de peso es más que lo que él mismo pesa, claro es que subirá en lugar de bajar. Su peso será lo que se llama en matemáticas una cantidad negativa: lo impulsará en sentido contrario que lo haría un peso positivo.

Los valores negativos no son ilusorios, sino reales y efectivos. Si un peso positivo de cinco kilos, por ejemplo, empuja hacia abajo con una fuerza de cinco, un peso negativo de cinco kilos empuja con la misma fuerza hacia arriba. El principio de Arquímedes no falla tratándose de flúidos y de cuerpos sólidos sumergidos en ellos, o de flúidos de distintos pesos o densidades que estén en contacto unos con otros.

Si en un depósito de agua se sumerge un obje-

to que pese menos que su mismo volumen de agua, subirá hasta que la parte sumergida de dicho objeto pese justa y cabalmente lo mismo que su volumen de agua; lo que sobre del objeto sobresaldrá por encima del agua.

Así se ve que un barco a flote tiene una parte debajo del agua o sumergida, que es la que se llama *obra viva* en términos navales, y otra enci-



Barco acorazado de guerra.

La parte punteada es la que queda debajo del agua cuando el barco se halla a flote. Esa parte se llama la obra viva, y ocupa un volumen de agua que pesa tanto como el barco todo.

ma del agua, que es la llamada en el mismo lenguaje *obra muerta*. La parte sumergida del barco ocupa un lugar que, si se llenase de agua, pesaría tanto como el barco todo.

Ese es el motivo de que se hunda tanto más un barco, o de que cale tanto más (que es como

se dice) cuanto más cargado vaya. Y siempre la parte del barco que está sumergida es tal que si se llenase de agua, pesaría lo mismo que el barco entero con su carga.

Con un gas, como el aire, por ejemplo, no puede hacerse esa prueba en idéntica forma; pero si en un espacio lleno de aire se introduce un objeto que pese menos que su mismo volumen del aire que hay en el dicho espacio, ese objeto subirá; y no hay duda de que si fuera posible limitar por la parte de arriba el espacio lleno de aire, el objeto no dejaría sumergido en ese aire más que un volumen que si se llenara de aire pesaría exactamente lo mismo que el objeto todo.

También si se inyecta aire u otro gas cualquiera en el fondo de una vasija llena de un líquido, el aire o el gas sube a través de la masa líquida y sale por la parte superior de ella en forma de burbujas. Eso lo habréis visto mil veces.

Los cuerpos sólidos, si tuvieran la misma soltura para moverse que los líquidos y los gases, procederían, sin duda, lo mismo que ellos; de modo que si hiciéramos una mezcla de arena y perdigones, pongamos por caso, y el peso de un cuartillo de arena fuera menor que el de un cuartillo de perdigones, que es lo mismo que decir que si la arena pesase menos que los perdigones, éstos se irían por sí mismos a la parte de abajo y dejarían a la arena la de arriba; y así su-

cede cuando se sacude enérgicamente durante algún tiempo un recipiente cualquiera en que haya dos substancias sólidas reducidas a polvo, no tardando la más ligera de ellas en colocarse en la parte superior, yéndose al fondo la más pesada; pero por disgregados y sueltos que estén, los cuerpos sólidos, por razón de su misma naturaleza, están imposibilitados de moverse por sí mismos, compenetrándose y pasando unos a través de otros, y lo mismo ocurre con los que se hallan en esos estados intermedios entre el sólido y el líquido, que se llaman *pastoso* y *viscoso*, que tampoco dejan a los cuerpos que en ellos se encuentran la soltura bastante para obedecer a sus tendencias naturales.

No creáis, sin embargo, que los líquidos y los gases tengan propiedades en todo iguales o siquiera semejantes, pues hay varias en que son esencialmente diferentes.

Los líquidos son *incompresibles* o casi *incompresibles*, lo cual quiere decir que no se dejan reducir a menor espacio que el que naturalmente ocupan, por grande que sea la fuerza que se haga sobre ellos, mientras que los gases son eminentemente *compresibles*, *expansivos* y *elásticos*.

Si en una capacidad herméticamente cerrada, llena de agua, de vino, de aceite o de cualquiera otro líquido, se quiere introducir una gota más de la cantidad que contiene, para lo cual es indispensable, como puede comprenderse, que el

líquido contenido en ese espacio se contraiga lo bastante para dar lugar a la gota que ha de entrar en él, todos los esfuerzos que se hagan resultarán inútiles, pues el líquido no cederá lo más mínimo; pero si en ese mismo espacio cerrado, lleno de aire, gas del alumbrado, oxígeno, hidrógeno, ázoe, ácido carbónico o cualquiera otra materia de las llamadas *gases*, se quiere introducir mayor cantidad de ella de la que hay, el gas se contraerá, o sea, las partículas menudísimas que lo componen se apretarán unas contra otras lo necesario para dar cabida a la nueva porción de materia que entra, si bien haciendo tanta fuerza la materia así encerrada y oprimida para dilatarse como se ha hecho sobre ella para obligarla a contraerse.

Si en un espacio cerrado que tenga un metro cúbico de capacidad, por ejemplo, lleno de un gas cualquiera, nos proponemos introducir otro metro cúbico del mismo gas, o sea otro tanto como el que ya hay, necesitaremos hacer un esfuerzo violento para inyectar esa nueva cantidad de gas; pero ese esfuerzo no será vano, pues se obligará al gas contenido en el depósito a contraerse y hacer lugar al nuevo que se inyecta.

Ambas cantidades de gas, encerradas ahora en el depósito, harán tanta fuerza para dilatarse y ocupar doble espacio que el que ocupan como la que hubo que hacer para obligarlas a estar juntas en el depósito.

Como el espacio que el gas ocupaba tenía un

metro cúbico de capacidad y hemos encerrado a la fuerza en el otro metro cúbico más de gas, el que hay ahora en el depósito de un metro cúbico de cabida hará un esfuerzo para dilatarse y ocupar dos metros cúbicos, exactamente igual al que se hizo para comprimirlo.

Estoy hablándoos en el supuesto de que sabéis lo que es un metro cúbico, ¿no es así?

—Un metro cúbico es un espacio encerrado entre seis cuadrados de un metro de lado cada uno, y que tiene, por lo tanto, un metro de alto, uno de largo y uno de ancho: eso se enseña en Geometría elemental—dijo Luisito.

—Así es—contestó don Juan—; pero podías haberlo olvidado.

Imaginaos ahora —prosiguió diciendo—que en esa capacidad de un metro cúbico donde tenemos encerrado el gas que ocupaba antes dos metros cúbicos queremos forzar a que entren dos metros cúbicos más del mismo gas.

Habremos de hacer un esfuerzo enorme, pero con tal de que las paredes del recipiente tengan resistencia suficiente para soportar sin romperse la violencia de ese esfuerzo, esos dos nuevos metros cúbicos penetrarán en el espacio en que comenzó por no haber más que uno y en que hay ahora dos; y los cuatro metros cúbicos de gas así encerrados en el espacio de uno sólo, harán tanta fuerza para dilatarse y ocupar un espacio cuatro veces más amplio como la que se necesita para mantenerlos comprimidos.

Esa propiedad de los gases, en cuya virtud tienden a dilatarse tanto más enérgicamente cuanto menor espacio ocupan, se ha expresado en una ley física que los franceses llaman *de Mariotte*, y los ingleses *de Boyle*, la cual se enuncia diciendo que *los volúmenes están en razón inversa de las presiones*.

La fuerza que hace un gas comprimido en un espacio para dilatarse y ocupar un espacio mayor se llama *presión, tensión, fuerza elástica o fuerza expansiva*, y se mide en unidades de peso, como libras, kilogramos o cualesquiera otras sobre superficies, como pulgadas cuadradas, centímetros cuadrados, etc.

Así, cuando se dice que la presión de un gas es de 60 libras por pulgada cuadrada, ha de entenderse que la fuerza que hace ese gas sobre cada pulgada cuadrada equivale a un peso de 60 libras.

También se expresa esa presión o fuerza expansiva en *atmósferas*, unidad ésta que significa el peso de la columna de aire que tienen encima los lugares que se hallan al nivel del mar, columna de aire que pesa lo mismo que una de agua de 10 metros de altura, o que una de mercurio de 76 centímetros.

Porque debéis tener presente que vivimos sumergidos en una masa de aire que envuelve al mundo y que tiene un espesor que se calcula en sesenta o setenta leguas, como os he dicho, y esa masa de aire pesa sobre la tierra como si fuera

una de agua que tuviera 10 metros de altura desde el fondo hasta la superficie. Así que los lugares más bajos de la Tierra, que son las superficies de los mares y los lugares que están al mismo nivel que ellas, soportan un peso de aire equivalente a 10 metros de agua, y conforme más altos están, menor peso de aire gravita sobre ellos.

Pero no son sólo las tierras, las aguas y los objetos, vivientes o no, que hay en la superficie del globo terrestre los que sufren el peso del aire que tienen encima, sino el aire mismo; porque comprenderéis que sobre cada capa de aire (exceptuando la que esté más alta que todas, pues ésa no sufre peso ninguno) gravita toda la masa de aire que está sobre ella y la comprime; de modo que el aire ha de ser tanto más espeso y ha de estar a tanta mayor presión cuanto más bajo sea el nivel a que se encuentre.

He ahí por qué un globo, henchido de un gas más sutil y, por lo tanto, más ligero que el aire que lo rodea, se eleva hasta encontrar un aire que sea de igual sutilidad que el gas que lleva dentro de sí.

Los globos se llenan de aire caliente (porque el aire caliente está más dilatado y pesa, por consiguiente, menos que el aire frío), de gas del alumbrado o de hidrógeno, gases ambos más ligeros que el aire que acá abajo tenemos, y por eso se elevan.

—Nos ha dicho usted que las capas de aire bajas son más espesas y pesadas que las altas, por-

que están comprimidas por el peso de todas las capas de aire que tienen encima de ella. Con las aguas del mar pasará lo mismo: las del fondo serán también más espesas, porque cargan con todo el peso de las que hay sobre ellas, ¿no es así, papá?—preguntó Luisito.

—Siempre los flúidos, sean gases o líquidos, se colocan por sí mismos en orden de densidades crecientes de arriba abajo; ya os lo he dicho—le contestó don Juan—; pero hay una diferencia importantísima, sobre la cual ya os llamé también la atención, entre unos y otros.

En virtud de la compresibilidad y elasticidad de los gases, las capas inferiores del aire se reducen a menor volumen a causa del peso de la masa de aire que gravita sobre ellas, originándose en su seno una fuerza expansiva que tiende a hacerles recobrar su primitivo volumen; mientras que siendo los líquidos incompresibles, el agua del fondo del mar no experimenta contracción alguna por efecto del peso de toda la demás agua que tiene encima.

El agua puede ser más o menos densa por estar más o menos cargada de sales y también por razón de temperatura (pues la experiencia demuestra que la densidad del agua va creciendo gradualmente con el frío, hasta llegar a la temperatura de cuatro grados centígrados sobre cero, en la cual alcanza esa densidad su punto más alto; pero no por razón del peso que sufra sobre sí.

Voy a poner os unos ejemplos que aclararán mis palabras.

Figuraos un larguísimo resorte metálico en espiral, puesto de pie sobre el suelo, y figuraos también una alta pila de libros.

Cada vuelta del resorte en espiral soporta el peso de toda la parte del resorte que está encima de ella y se contraerá más o menos, según sea el peso que sobre ella gravita.

La última vuelta de abajo sufrirá el peso de todo el resorte y será, por consiguiente, la que más tenga que ceder; la que esté inmediatamente sobre ella soportará un peso algo menor y cederá ligeramente menos; la siguiente tendrá aún menos peso encima y se doblará menos que la precedente, y así sucesivamente hasta la última de arriba, que estará libre de toda opresión.

El resorte todo se contraerá en graduación creciente de arriba abajo, y cada una de sus vueltas o espiras hará un esfuerzo para recobrar su posición natural de igual intensidad que el peso que la obliga a permanecer contraída.

Ese resorte es la imagen de una columna de aire. Suponed el aire dividido en capas o tongas horizontales. Cada una de esas tongas es una de las vueltas del resorte, la cual sufre el peso de todas las que tiene encima, se contrae bajo ese peso y hace un esfuerzo tan violento como el peso que lo comprime para recobrar su posición natural.

El aire de la última tonga de abajo será el más

comprimido y, por lo tanto, el más denso o espeso de todos; el de la primera tonga de arriba será el más sutil y ligero, por no sufrir peso alguno que lo comprima.

Considerad ahora la pila de libros y admitid que haya sido tan bien encuadernado y prensado cada uno de ellos que no pueda reducirse a menor volumen por mucho que se le apriete.

Suponed también que esos libros no son iguales, sino que hay unos que por la calidad del papel de que están hechos son más pesados que otros, y que hemos colocado abajo los más pesados, ordenándolos en pesos decrecientes hasta lo más alto de la pila, donde vá el más ligero de todos.

Como quiera que sea, el último libro de abajo soportará el peso de todos los demás libros; el siguiente sufrirá un peso ligeramente menor, porque tiene encima un libro menos que el anterior; el tercero soportará aún menos peso, y así sucesivamente hasta el último de arriba, que remata y corona la pila, el cual no sufrirá peso ninguno.

Cada libro sufrirá un peso distinto, pero ninguno se contraerá o encogerá, porque los hemos puesto incompresibles, o sea, incapaces de contraerse o deformarse lo más mínimo, por enérgica que sea la presión a que se les someta.

Los libros del pie de la pila son más pesados, más densos, que los que están encima de ellos, pero no por hallarse más comprimidos, sino por

ser de papel más fuerte o más grueso y pesado que los otros.

Esa pila de libros es, para el caso, la imagen de una columna líquida, en la cual cada una de las capas o tongas en que podemos suponerla dividida sufre el peso de todas las que están encima de ella, sin experimentar contracción alguna.

Las diferencias de densidades o pesos del líquido de las tongas será por razones de temperatura o de cantidades relativas de sales que lleven disueltas en su masa. ¿Me habéis entendido, niños?

—Creo haberle entendido a usted, padre—contestó Luisito—. Si en vez de ser toda la columna de un solo líquido fuera de dos, como agua y aceite, por ejemplo, la parte alta de la columna se compondría de aceite, y la baja, de agua; pero no porque el agua, por estar debajo, aguante más peso encima de sí que el aceite, sino por ser el aceite, por su naturaleza, más ligero que el agua; pues ni el agua ni el aceite se espesan más porque se les comprima. ¿He dicho bien?

—Perfectamente—le contestó don Juan—. Y ya que estáis enterados (pues supongo, Carmencita, que tú también te habrás hecho cargo de mis palabras), volveremos a los globos, que dejé abandonados para contestar a tu pregunta, Luisito.

Los primeros globos, que no son nada antiguos, pues su invención es de fecha relativamen-

Calleja

te reciente, se hicieron de papel, como siguen haciéndose todavía los que se destinan a mera diversión; más adelante se fabricaron de tafetán muy fuerte y tupido, y, por último, en nuestros



Globo común con sus accesorios.

Los primeros globos fueron perfeccionándose durante el mismo siglo XVIII, pues a fines de él se emplearon globos cautivos en la guerra. El papel de la envuelta fue sustituido por tafetán; se les envolvió en una red, de la cual colgaba una barquilla en que iban los tripulantes, y en vez de aire caliente, como al principio, se les llenaba de gas del alumbrado o de hidrógeno.

mismos días se hacen de aluminio, que es un metal ligerísimo.

Los globos de papel se llenan de aire caliente y no levantan más que su propio peso. Para cargarlos se les deja un agujero u orificio abierto en la parte inferior, inmediatamente debajo del cual

va suspendida una redcilla de alambre muy fino, donde se enciende el combustible, sea paja, papel, alcohol o cualquiera otro destinado a calentar el aire que ha de henchir el globo. Ese



Globo-cometa.

Entre los diversos modelos de globos que se idearon en la segunda mitad del siglo XIX, buscando la resolución del problema de la navegación aérea, o sea la de llevar esos aparatos en la dirección que se quiera, merece especial mención el que representa este grabado, el cual estaba construido de una materia flexible. El ensayo no respondió a las esperanzas que abrigaban los inventores

combustible sigue ardiendo mientras el globo se remonta.

Los globos de tafetán consisten en el globo propiamente dicho y en la barquilla en que se colocan los aeronautas, la cual es de mimbre u otra materia ligera, y va suspendida de una red

que envuelve al globo. Éste va completamente cerrado, y se llena de gas hidrógeno u otro semejante que sea bastante más ligero que el aire.

En globos de tafetán provistos de su barquilla se han practicado curiosas observaciones y estudios sobre las altas regiones de la atmósfera; pero son aparatos muy imperfectos y de aplicaciones limitadísimas, pues sólo pueden ser utilizados



Zeppelin. Dirigible alemán.

Aunque el problema de dar dirección a los globos dista mucho de estar resuelto, se ha dado un gran paso en tal sentido, mediante el empleo de envueltas metálicas y de motores de explosión. El presente grabado representa uno de los modelos más perfectos que se conocen, cuyo autor es el conde Zeppelin, muerto recientemente.

en tiempo de gran calma, y están completamente a merced del viento, por leve que sea.

Se trabajó muchísimo en el curso del siglo último, y se ha seguido trabajando en los años corridos del presente, para perfeccionar los globos y convertirlos en instrumentos prácticos, y se ha adelantado mucho en ese camino.

Hoy se les hace de aluminio, como ya os he dicho, se les da una forma prolongada y puntiguda, a modo de huso, para que venzan fácilmente la resistencia del aire; se les cuelga una

barquilla tan larga como el globo mismo, donde van los tripulantes y todos los instrumentos y objetos que llevan consigo para los fines que se proponen, y hasta cañones de poco peso, si el globo se destina a máquina de guerra; y en la misma barquilla va también la máquina que pone en movimiento la hélice que impulsa todo el aparato. A estos globos se les llama especialmente *dirigibles*, por prestarse mejor que cualesquiera otros a ser dirigidos adonde se quiera, siempre que el viento no sea excesivamente violento.

Entre los muchos modelos y sistemas de ellos, se ha hecho muy notable el llamado *Zeppelin* por el nombre de su autor, caballero alemán, muerto recientemente, que dedicó muchos años de su vida al estudio y resolución de los muchos problemas que la navegación aérea plantea.

El zeppelin tiene su principal aplicación como máquina de guerra, y contiene accesorios y elementos sólo conocidos de sus mismos constructores y que todavía no son del dominio público.

Esos globos, que, sin duda, habrán de experimentar grandes perfeccionamientos con el curso del tiempo, están llamados a un grandioso porvenir, no sólo como instrumentos de guerra, sino de comunicación, de ciencia y de comercio.

II

—¿Te enteraste bien, Luisito, de las explicaciones que nos dio papá el otro día sobre los líquidos, los gases y los globos? Yo entendí bastante

bien algunas de las cosas que nos dijo; pero de otras sólo quedé enterada a medias. Aquello de las presiones y de los volúmenes me confundió algo; ¿lo entendiste tú bien a fondo?

Así hablaba Carmencita a su hermano tres o cuatro días después de la conversación que habían tenido con su padre y que en el capítulo anterior hemos referido.

—Yo comprendí perfectamente lo que papá nos dijo—le contestó Luisito—, porque ya tenía nociones sobre las materias de que trató, que son interesantísimas; pues aunque te parezca raro, Carmencita, tienen relación muy estrecha con las máquinas de vapor, de aire caliente, de gasolina y otras que se han inventado en nuestros tiempos y que han producido una verdadera revolución en el mundo.

Ya ves, Carmencita—agregó Luisito con cierta prosopopeya—, que no sólo eres tú digna del calificativo de catedrática que papá te aplicó, y que yo también sé emplear terminachos y frases altisonantes; ¿qué te ha parecido eso de producir una revolución en el mundo?

—Me ha parecido extraordinario y piramidal, Luisito. Vas camino de diputado, gobernador o ministro, porque hoy, hablando, se va a todas partes; la cuestión es hablar, aunque sean disparates. Pero conmigo no te vale esa artimaña, y ahora mismo vas a explicarme, y bien clarito, qué relación tienen los globos y las cosas sobre gases y líquidos, presiones, expansiones y demás

de que papá nos habló días pasados con las máquinas de vapor y de gasolina.

—No sólo soy capaz de demostrarte que hay gran relación entre los globos y las máquinas de vapor, sino entre todas las cosas de la Naturaleza por ajenas unas de otras que te parezcan; ¿qué relación, por ejemplo, hay entre los globos y las causas que los hacen remontarse y los bizcochos borrachos? ¿La adivinas?

—¡Entre los globos y los bizcochos borrachos! —exclamó Carmencita— ¡Bonito acertijo! ¿Con esa seriedad contestas a mi pregunta?

—Te hablo muy en serio, Carmencita. Vamos a ver, ¿convienes conmigo en que los globos suben porque pesan menos que el aire y que por esa misma razón suben las nubes? ¿No lo dijiste tú misma el otro día cuando hablamos de esto mismo con papá?

—Estamos conformes—le contestó Carmencita—. Ahora veamos cómo vas desde ahí a los bizcochos borrachos.

—Pues muy fácilmente—dijo Luisito—, y si no, contéstame a esta pregunta: ¿qué son las nubes?

—Son vapor de agua—replicó Carmencita.

—Muy bien, Carmencita; el mismo Aristóteles no habría contestado con más exactitud y con menos palabras a mi pregunta. Las nubes son agua reducida a vapor por la acción del calor, y levantada a las altas regiones del aire por pesar menos en ese estado de vapor que el aire que

acá abajo respiramos, o sea, por idéntica razón que se levantan los globos. Ahora dime: ¿en qué consiste la lluvia?

—Consiste en el vapor que compone las nubes, el cual, al enfriarse, se convierte en agua, y cae porque el agua pesa más que el aire—contestó Carmencita.

—De modo que si no hubiera nubes no llovería, ¿no es así?—dijo Luisito.

—Seguramente que no—le replicó su hermana.

—Y si no lloviera no nacerían ni crecerían las mieses, ni las cepas, ni tendríamos trigo, ni harina, ni uvas, ni vino, que son los ingredientes y materiales de que se confeccionan, si no me engaño, los bizcochos borrachos, ¿no te parece?—preguntó triunfalmente Luisito—Luego si el vapor de agua no obedeciese a la misma ley que hace remontarse a los globos—prosiguió diciendo—, no tendríamos nubes, ni lluvias, ni harina, ni vino, ni bizcochos borrachos.

—Ni cara en que persignarnos—agregó Carmencita—, porque por lo mismo que no habría nada de lo que dices, no existiríamos tampoco nosotros.

—¿Y qué duda cabe de que no existiríamos? Todo en la Naturaleza está tan estrictamente enlazado, que con suprimir una sola cosa se viene al suelo toda la máquina—dijo Luisito.

—¡Bueno!—exclamó Carmencita—; pero bájate de esas alturas y no te me escapes por la tan-

gente. Con toda tu palabrería no te libras del compromiso que has contraído conmigo de explicarme el parentesco que hay entre los globos, los gases, las presiones y demás cosas de que nos habló papá el otro día, y las máquinas de vapor.

—Allá voy Carmencita; no te impacientes y pon atención a lo que voy a decirte. Verás cómo paso a paso vamos de cada una de esas cosas a las otras.

—Pero ten muy presente, Luisito, que no paso por movimiento mal hecho, ni admito palabras que no respondan a hechos muy justos y precisos. Conmigo no valen líos ni enredos; al pan, pan, y al vino, vino. Conque prepárate a contestar a todas las preguntas que vaya haciendo cuando tenga dudas sobre lo que me digas.

—Procuraré ser lo más claro posible, hermana; pero tampoco me pidas lo que no puedo dar, porque yo no soy ningún doctor en ciencias. Además vamos a tratar de cosas muy profundas, algunas de las cuales, según tengo entendido, están más allá del alcance hasta de los hombres más sabios.

Me dijiste que no habías entendido bien lo que papá nos dijo sobre los volúmenes y las presiones de los gases. Precísame bien qué fue lo que no entendiste. Ya que quieres tú que yo sea muy claro, dame tú el ejemplo.

—Pues te diré—le contestó Carmencita—que aquella ley de un señor... No recuerdo bien cómo se llamaba... Es un nombre como de mujer...

—¡Ah, sí!, ¡ya caigo!—la interrumpió Luisito—Hablas de la *ley de Mariotte*, que es la misma que los ingleses llaman *ley de Boyle*. Pues mira: ese Mariotte, con nombre de mujer y todo, fue un borgoñón con toda la barba. Vivió en el siglo xvii, lo mismo que el inglés Boyle, y los dos se distinguieron como hombres de ciencia. Roberto Boyle fue uno de los quince hijos de Ricardo Boyle, conde de Cork, de los cuales siete fueron varones, y casi todos ellos se señalaron por sus méritos... Pero dejémonos de divagaciones y vayamos al grano.

—Antes de que embistas con el grano—dijo Carmencita—contéstame a esta pregunta: ¿tenía también ese Roberto Boyle toda la barba, como Mariotte, o llevaba la cara monda y lironda como Voltaire, Federico el Grande y otros personajes ilustrísimos que he visto retratados en un librote grande que tiene papá en el despacho?

—Mira, Carmencita, no he podido averiguar ese interesantísimo dato; pero como Boyle vivió en el siglo xvii, y en ese tiempo no se había dado todavía en llevar la cara al rape, como en el siglo xviii, en que vivieron estos otros personajes que dices, supongo que se dejaría los bigotes, por lo menos, como pienso dejármelos yo en cuanto los tenga.

Así no me pasará, si me mandan alguna vez de embajador a alguna corte extranjera, que me pregunten, como le preguntó no recuerdo qué Papa a un Garci Laso de la Vega, embajador del

Rey de Castilla, si no había encontrado su señor entre sus súbditos alguno que tuviera siquiera pelos en la cara que lo representase; porque ese Garcí Laso, no sé si por joven o por lampiño de natural, tenía, por lo visto, la cara lisa como tú, Carmencita.

—Ese cuento lo has leído en la vuelta de una hoja de un almanaque de pared; lo conozco porque yo también lo he leído, así como la contestación de Garcí Laso al papa—dijo Carmencita—. Es de esperar que te salgan a ti bigotes andando los años, y con ellos, con tu erudición de almanaque de pared y con tu charla, además de un poco de oranvobis de que te encargarás tú mismo de armarte, y de un sombrero de tres pisos, que te cuesta cuatro o cinco duros, tienes cuanto se necesita para desempeñar una embajada o un ministerio. Ahora ya puedes ir al grano.

—Pues bien—dijo—Luisito—; comenzaré mi explicación diciéndote que la ley física que descubrieron Mariotte y Boyle se expresa diciendo que *permaneciendo constante la temperatura, el volumen de una masa de gas está en razón inversa de la presión que soporta.*

Te lo diré más claro de esta otra manera: si cierta cantidad de un gas cualquiera (de aire, por ejemplo), encerrada en un recipiente de un cuartillo de capacidad, ejerce una fuerza para dilatarse equivalente a un peso de veinte kilos sobre cada pulgada cuadrada, y se la obliga a encerrarse en un recipiente de medio cuartillo, la fuer-

za de dilatación de ese gas subirá a ser de cuarenta kilos sobre cada pulgada cuadrada; y si se la reduce todavía más, obligándola a encerrarse en un recipiente de una cuarta parte de cuartillo, su fuerza de dilatación vendrá a ser de ochenta kilos por pulgada cuadrada. Todo esto en el supuesto de que la temperatura del gas ha permanecido siendo la misma.

—¿Y contra qué o sobre qué pulgadas cuadradas hace el gas esa fuerza que dices?—preguntó Carmencita.

—Pues contra todo lo que le rodea y contra sí mismo. Cada porción de gas, por pequeña que sea, oprime a todas las que están en contacto con ella con una fuerza equivalente a la que harían los dichos pesos sobre aquello que los sostuviera.

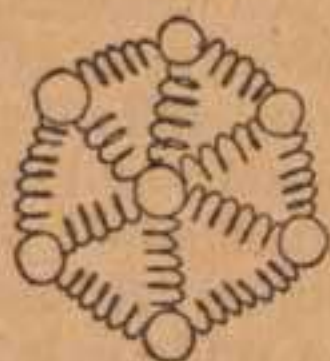
Por virtud de esa fuerza, el gas tiende a dilatarse o expansionarse, y a medida que va dilatándose, disminuye la fuerza que hace; de modo que si se dilata hasta ocupar doble espacio que el que ocupaba, esa fuerza expansiva se reduce a la mitad; si se dilata hasta ocupar veinte veces mayor espacio, la fuerza expansiva baja hasta ser veinte veces menor que lo que antes era; y, al contrario, si el volumen o capacidad del gas va reduciéndose, la fuerza expansiva interna que tiene va aumentando en proporción contraria. Eso es lo que significa que los volúmenes están en razón inversa de las presiones.

Papá se valió, para explicarnos lo que era la

presión de la atmósfera, del ejemplo de un resorte en espiral de acero puesto de pie sobre una mesa.

Ese ejemplo del resorte va a servirme también en este caso de que estamos tratando.

Imaginate que cada molécula del gas está ligada con todas las que la rodean por otros tantos resortes de acero. Al comprimir el gas todo en redondo, todos esos resortes se encogen; y se encogen tanto más cuanto más fuerza se hace; pero al mismo tiempo hacen ellos la misma fuerza para volver a su posición natural.



—Lo que primero tienes que explicarme—dijo Carmencita—es en qué consisten las moléculas.

—Son partículas pequeñísimas que, reunidas y aglomeradas entre sí, forman los cuerpos—le contestó Luisito.

Figúrate—prosiguió diciendo—que machacamos o molemos un ladrillo hasta reducirlo a polvo finísimo. Las partículas que componen ese polvo y que formaban el ladrillo cuando estaban juntas unas con otras, te dan una idea grosera de lo que son las moléculas. Y te digo una idea grosera, porque las moléculas son infinitamente más menudas que las más imperceptibles partículas de polvo.

A qué extremo de pequeñez puede llegar la materia, te lo dirá el hecho de tener la envuelta

de una pompa de jabón por la parte de arriba un grueso de una diezmilésima de milímetro; ese espesor baja a ser de una cienmilésima cuando la pompa va ya a estallar y presenta una manchita oscura.

Las alas de las libélulas, que son esos insectos llamados por otro nombre caballitos del diablo, son poco más o menos de ese grueso. Piensa ahora en una bolita que por ninguna parte que se la mida tenga más espesor que el ala de un caballito del diablo.

—Me la imagino, Luisito, porque la fantasía tiene también alas, y tales, que no las de los caballitos del diablo, sino las de las golondrinas, son grilletes comparadas con ellas. ¿Una bolita así es una molécula?

—Ni lo sueñes, Carmencita; esa bolita sería un mundo al lado de una molécula. Por ahí puedes sacar cuál será la pequeñez de una molécula. Pero déjame que siga, pues todavía la molécula puede dividirse en partículas más pequeñas que ella.

—Querrás decir—le objetó su hermana—que puede suponérsela dividida, no que pueda dividírsela, porque seguramente no habrá modo no de dividirla, pero siquiera de verla.

—Así es, Carmencita. Pues que tiene dimensiones, puede imaginársela reducida a la mitad, a la cuarta parte... al tamaño más pequeño que se te antoje. Lo que no tiene dimensiones, y, por lo mismo, no puede ser dividido, es el *átomo*.

De ninguna manera puedo definirte mejor el

átomo que diciéndote que es una molécula de molécula. Átomo es una palabra griega, según me dijo papá, que significa *sin división*, que es lo mismo que *indivisible*.

—¡Alto ahí! ¡Para el carrol—le interrumpió Carmencita—Eso de que un átomo no pueda dividirse, no me entra. O el átomo es algo, o no es nada. Si es algo, puede dividirse; si no es nada, excusas hablar de él. ¿Es algo el átomo?

—Tanto es algo el átomo, cuanto que tiene propiedades—le contestó Luisito—. Un átomo de hierro no es lo mismo que un átomo de cobre. Lo que no tiene es dimensiones.

—Es decir—le contestó Carmencita—, que no tiene largo, ni ancho, ni alto. ¿No es eso? ¿Y quieres tú hacerme tragar que de muchas cosas juntas, que ninguna de ellas tiene largo, ni ancho, ni alto, que es lo mismo que decir que no tienen bulto ninguno, puede componerse una que lo tenga?

Yo estoy dispuesta a seguirte adonde tú quieras llevarme, Luisito: con la fantasía, se entiende, pues todas esas divisiones de que estás hablando son fantásticas, no efectivas; pero no pretendas llevarme a lo irracional, pues ahí te dejo solo. Yo he estudiado los quebrados en Aritmética, y tú también, supongo, ¿no es así?

—¡Ya lo creo! ¡Como que en el examen tuve que tratar de ellos y me dieron nota de sobresaliente! Es más elegante llamarlos fracciones o cantidades fraccionarias.

—Llámalos como quieras, con tal de que nos entendamos. Pues bien; toma por unidad un cuerpo del tamaño que se te antoje, y represéntalo por la cifra 1, que es la que representa la unidad. Esa cifra 1, ¿qué significa?—preguntó Carmencita.

—Pues significará ese cuerpo de que hablas, ¿qué duda cabe?—le contestó Luisito.

—¡Perfectamente!—dijo su hermana—Y ahora—prosiguió—si debajo de ese número 1, que representa ese cuerpo, tiras una raya y escribes debajo de ella el número 10, ¿qué significará la cifra así escrita?

—Pues representará la décima parte de ese cuerpo, Carmencita; eso es elementalísimo.

—¡Conformes! Y si al número 10, que es el denominador del quebrado, le añado un cero, convirtiéndolo en 100, ¿qué significará la cantidad así escrita?

—La centésima parte del mismo cuerpo—le replicó Luisito.

—De modo que si voy agregando ceros al número que hace de denominador del quebrado irá significando ese quebrado partes de diez en diez veces menores del cuerpo representado por su numerador; así que cuando el denominador sea 1.000, el quebrado significará la milésima parte del cuerpo de que tratamos; cuando sea 10.000, la diezmilésima, etcétera, ¿no es así?

—Indudablemente—contestó Luisito.

—¿Y cuántos ceros quieres que escriba para

que ese quebrado sea la representación del átomo, Luisito? ¿Quieres que sean diez, ciento, mil millones de ceros? Di un número, el que quieras pues estoy dispuesta a escribirlo, con la imaginación por lo menos; pues tan grande pudiera ser, que no haciendo otra cosa en toda mi vida que escribir ceros, no tuviera tiempo; pero ya se sabe que todo cuanto aquí estamos haciendo, tú con tus divisiones y yo con mis ceros, que son la representación escrita de tus divisiones, es puramente fantástico, aunque esté siempre dentro de lo racional.

—¿Qué quieres que te diga, Carmencita? No sé cuántos ceros habrías de añadir al denominador de la fracción para representarse en ella el átomo; sólo puedo decirte que serían una atrocidad de ellos.

—Ahí quería verte—contestóle Carmencita—. Y si yo agrego un cero más al denominador de la fracción que representa el átomo, la fracción que resulte, ¿será una cantidad real y efectiva que responderá a una cosa que hay, o significará una cosa sin tamaño, o sea la nada?

—Sin duda será una cantidad muy pequeña; pero real y efectiva, pues será mayor que cero—contestó Luisito.

—Pues entonces el átomo puede dividirse, pues que haciéndolo diez veces más chico, que eso significa agregar un cero al denominador del quebrado que lo representa, es efectiva la cantidad que resulta—dijo Carmencita—. Te repito que es-

toy dispuesta a seguirte en el camino de ir achicando las cosas hasta donde tú quieras, pero siempre que no te me salgas de la razón.

—Te metes en unas honduras, Carmencita, que lo desconciertas a uno. Yo creo que esto de los átomos pertenece a la región donde se pierden los sabios y los filósofos y me parece prudente que nos pongamos en un punto razonable, admitiendo que el átomo es una partecilla pequeñísima de las muchas que, reunidas, forman la materia.

—Eso es ponerse en razón y en condiciones de tratar—le contestó Carmencita—. Estoy conforme contigo. Un átomo de hierro, o de agua, o de aire, es un bulto pequeñísimo, increíblemente pequeño; pero que mirado con un vidrio de aumento nos parecerá de un tamaño regular.

—¡Ca!; no hay vidrio de aumento, ni puede haberlo, que tenga fuerza para dejarnos ver, no el átomo, pero siquiera la molécula. ¿Pero qué digo la molécula?; ni una cosa que abultase muchos millones de veces más que la molécula, Carmencita.

—Ya lo sabía, Luisito; pero no me negarás el derecho de figurarme con la imaginación un vidrio capaz de hacer que un átomo nos parezca del tamaño de una manzana. No se necesita hacer mayor esfuerzo de imaginación para concebir el átomo que para figurarse un vidrio de aumento como el que te digo.

Y admitiéndome el derecho de figurarme ese vidrio de aumento, pues tienes que admitírmelo,

y el de ver a su través el átomo del tamaño de una manzana, ¿cómo has de negarme la facultad de verla partida en dos, en cuatro o en veinte pedazos? Ahora sigue.

—Es que ya ni recuerdo dónde estábamos, Carmencita. Con esto de los átomos he perdido el hilo de lo que te estaba diciendo.

—Me estabas diciendo, Luisito, que cada molécula de un gas estaba como ligada con todas las otras moléculas que tiene alrededor suyo por resortes de acero.

—Y así es, efectivamente, Carmencita. Cada una de esas moléculas hace fuerza contra las otras para apartarlas de sí, y en eso consiste la fuerza expansiva, o la presión o tensión de un gas.

Un gas se esfuerza siempre por ocupar mayor espacio que el que ocupa; lo mismo que una esponja que se aprieta con la mano hasta reducirla al tamaño de una nuez, procura ampliarse en todos sentidos, hasta recobrar su primer volumen.

Estos ejemplos de los resortes y de la esponja dan una idea groserísima, cierto es, pero bastante comprensible de la ley de Mariotte o de Boyle, de que hablábamos antes. ¿Te has hecho ya cargo de la cosa, Carmencita?

—Voy ya entendiéndola, Luisito. Y en esa ley, ¿se comprende también el vapor de agua?

—Sí, Carmencita; mientras el vapor de agua está en condiciones de ser asimilado a un gas

cualquiera, esto es cuando está lejos de su punto de saturación; papá me lo dijo días pasados.

—Te entiendo lo mismo que si me hablaras en griego, Luisito.

—Lo creo, Carmencita; y no podrás entenderme si no volvemos atrás sobre nuestros pasos y nos detenemos a estudiar, aunque sea por encima, que es la única manera que está a mi alcance, lo que se llama *estados* de los cuerpos o de la materia.

—Pues vuelve atrás cuanto quieras; no seré yo quien trate de impedírtelo; pero habrá de ser mañana u otro día, porque se nos ha hecho muy tarde.

III

—Vamos a ver cómo me explicas eso que me dijiste ayer sobre los estados de los cuerpos; pero ha de ser muy clarito, porque no paso por cosa que no entienda o que entienda nada más que a medias—dijo Carmencita a su hermano la tarde del día siguiente, hallándose ambos sentados en el jardín.

—Ya te he advertido, Carmencita, que no soy ningún doctor en ciencias, y que no puedo dar más de lo que tengo. Cuando pueda resolver las dudas que se te ofrezcan, lo haré; cuando no, te confesaré francamente mi ignorancia. Bajo esa base, comenzaré diciéndote...

—¡Al primer tapón, zurrapas!---exclamó Car-

mencita—¿Qué es eso de bajo esa base? Yo creía que la base de una cosa era lo más bajo de ella, Luisito.

—Así es, Carmencita; por eso se llama base de un prisma o de una pirámide la cara en que descansan, y base de una columna la parte inferior de ella que toca al suelo. Mediante la figura retórica llamada *metáfora*, y asimilando lo inmaterial a lo material, se llama base de una proposición, de un teorema, de una argumentación cualquiera, a la afirmación o al postulado que le sirve de punto de partida y en que se funda o reposa.

—Pues si sabes lo que es base de una cosa, me sorprende más que quieras edificar nada por debajo de ella — dijo Carmencita.

—Te diré—le contestó su hermano—. Es que días pasados, yendo por la plaza vi a un sacamuelas encaramado en un carricoche que decía a la mucha gente que le rodeaba, entre la cual estaba yo mismo: «Bajo la base, señores, de que las muelas de que os ha dotado la Naturaleza son muy inferiores a estas que aquí traigo, supuesto que las vuestras se os pican y os duelen de cuando en cuando, y las mías son incorruptibles y no duelen nunca, será un tonto el que no aproveche la brillante ocasión que se le presenta de sacarse las que tiene y sustituirlas por estas otras, que os ofrezco por la insignificante cantidad de tres pesetas.»

—¡Claro! Y como tú viste que ese sacamuelas

convenció a muchos de los que le oían, dirías para tus adentros que debía hablar como los propios ángeles—dijo Carmencita.

—Pues mira, has acertado; porque hubo allí unos cuantos que se sacaron todas las muelas, y entre ellos uno que las tenía capaces de romper con ellas adoquines, y se llevaron las de tres pesetas.

—Ésos debían de ser unos sabios, Luisito. Ese sacamuelas promete. Va, como tú, camino de ministro, director general o cosa parecida.

—¡Qué burlona eres, Carmencita! ¿Quieres o no que te explique lo que son los estados de los cuerpos?

—Explicalo, Luisito; pero ándate con pies de plomo en lo que digas, pues lo que he hecho con lo de la base, estoy dispuesta a hacerlo con todo.

—Pues se llama estado de un cuerpo—dijo Luisito—a la situación, en que se encuentra en cuanto a su densidad o punto de concentración de sus moléculas. Ya sabes lo que son moléculas, ¿verdad?

—Pues si después de lo que hemos hablado sobre ellas, todavía no supiera lo que son, podrías excusar explicarme nada, pues tendría la cabeza más dura que una peña, Luisito. Moléculas son partecillas muy pequeñas de las que, aglomeradas unas con otras, forman la materia. Las moléculas se componen a su vez de átomos, que son partecillas muchísimo más menudas que ellas. Ya ves que estoy enterada.

—Muy bien, Carmencita. Ahora te diré que las moléculas en un cuerpo pueden estar más cerca o más lejos unas de otras; y según el grado o punto de separación que haya entre ellas; así el cuerpo se hallará en un estado o en otro, siempre que se traspase de ciertos límites, pues dentro de ellos un cuerpo puede tener sus moléculas a distintos grados de separación sin cambiar de estado.

—No te entiendo bien, Luisito.

—¿Sabes tú lo que significan densidad, masa y volumen, Carmencita?

—Poco más o menos, sí; pero bueno será que me lo expliques—le contestó ella.

—Volumen de una cosa es lo mismo que lugar o espacio que ocupa, bulto o cabida que tiene, y se mide por unidades cúbicas, como metros, centímetros, varas, pies, pulgadas o cualesquiera otras.

Ahí tenemos un jarro grande y aquí una taza: en el jarro cabe gran cantidad de agua; en la taza muy poca. El volumen del jarro es mucho mayor que el de la taza. Si echamos en la taza el agua que puede contener un recipiente de la forma que en Geometría se llama cubo, de cinco centímetros de alto y otros tanto de largo y de ancho, y esa cantidad la llena por completo, diremos que la taza tiene cinco centímetros cúbicos de volumen. Para llenar el jarro necesitaremos echar en él muchos más centímetros cúbicos de agua; pero sean los que quiera, tantos como que-

pan en él será la cabida o volumen que tenga. En definitiva, volumen es lo mismo que tamaño o capacidad.

Ahora, masa es cantidad de materia, y se mide y aprecia por su peso; porque claro es que a mayor cantidad de materia ha de corresponder mayor peso. Es también clarísimo que componiéndose la materia de átomos, cuantos más átomos entren en un volumen dado de una materia, mayor será la cantidad de ella que en ese volumen se contenga y mayor será su peso. Donde en un volumen haya más átomos, habrán de estar más apiñados que donde haya menos en el mismo volumen. Las distancias que median entre ellos en el primer caso, serán menores que en el segundo.

La relación entre la cantidad de materia, que viene a ser tanto como decir su peso, y el volumen que ocupa, es lo que se llama densidad. Así, la cantidad de materia contenida en un volumen dado o el peso de ella, tiene por valor el producto de la densidad de esa misma materia por dicho volumen.

Te aclararé más mi explicación con un ejemplo: si con un kilo de harina se hace una hogaza de pan del tamaño de ese sombrero—y al decir esto señalaba Luisito al suyo de pajilla, que estaba sobre la mesa—, ha de estar más esponjado ese pan y ha de pesar la mitad que otra hogaza del mismo tamaño hecha con dos kilos de harina. ¿Entiendes lo que digo, Carmencita?

—Mira—le contestó ella con cierta sorna—, eso

de que un pan de un kilo pese la mitad que uno de dos, me parece luminoso; es un descubrimiento que deja atrás al de la pólvora. Al sabio que lo hizo (porque no hay duda de que sería un sabio, y también con toda la barba, como ese Mariotte de que hablábamos hace poco), debió de quedársele descansadísima la cabeza después de su invención

—Déjate de cuchufletas, Carmencita, y dime francamente si has entendido mi explicación, para seguir adelante con ella o volver atrás.

—Pero ¿tú te has figurado que yo soy como aquel sujeto que decía: yo entiendo perfectamente el vapor; entiendo también la electricidad; lo único que no he podido entender es cómo se las componen los panaderos para meter la miga dentro del pan sin romper la corteza?—dijo Carmencita.

—Pues mira, Carmencita, no lo creerás, pero sabios de muchísimo fuste han caído en candideces que corren parejas con esa del sujeto que cuentas. Newton, nada menos que Newton, que era aficionadísimo a los gatos, mandó que en una puerta, donde ya había abierta una gatera para la gata grande, se abriera otra gatera chiquita para que pasaran los hijuelos que acababa de tener.

—Es que hay sabios chiflados—dijo Carmencita—. Y di, ¿quién era ese Newton con la cabeza tan a pájaros?

—¿Es posible que no sepas quién era New-

ton, Carmencita?; no lo digas donde te oiga nadie, porque te desacreditarias.

—Pero ¿cómo quieres que lo sepa si nadie me lo ha dicho? ¿Acaso tengo yo ciencia infusa?

—Pues Newton—dijo Luisito—fue uno de los hombres de inteligencia más grande que ha habido nunca en el mundo. Cuando veamos a papá le preguntaremos, pues yo no puedo decirte sino bien poco sobre él. Sólo sé que fue el que descubrió las leyes de la gravitación.

—¡Bueno!; papá nos contará la vida y milagros de ese Newton, y de paso le preguntaremos lo que haya sobre esas leyes. Entretanto, sigue la explicación que me estabas haciendo, pues con tantas interrupciones no va a acabarse en un año.

—En lo que yo quiero principalmente que fijes tú atención, Carmencita, es en el hecho de que mientras mayor sea el peso de un cuerpo, o sea, la cantidad de materia que contenga, o, diciéndolo todavía de otra manera, mientras mayor sea su masa, mayor número de átomos han de entrar en un determinado volumen de ese cuerpo, y, por lo tanto, más cerca han de estar unos átomos de otros, ¿estamos?

—Me hago tan perfectamente cargo de lo que me dices, cuanto que es de sentido común, Luisito.

—No olvides tampoco, pues es muy importante para ahorrarme palabras en lo que en adelante voy a decirte, que al grado de apiñamiento de los átomos se le llama *densidad*; de modo que la

materia que tiene más cercanos unos de otros los átomos que otra, es más densa que ella.

—Hasta aquí vamos como sobre ruedas—dijo Carmencita—. Sigue adelante.

—Allá voy, Carmencita; no te impacientes, y fijate en lo que voy a decirte. La densidad de un cuerpo puede variar entre límites muy distantes uno de otro. Puede un cuerpo ser extremadamente denso, muy compacto, con sus átomos muy cercanos unos de otros, y puede ser, por el contrario, muy poco denso, sutilísimo, con sus átomos muy apartados entre sí. Entre esos dos límites extremos hay una escala gradual que podemos suponer compuesta de tantos escalones como se nos antoje.

—Eso no hay ni que decirlo, Luisito. Toda cantidad puede dividírsela en tantas porciones como se quiera; diganlo, si no, las moléculas y los átomos.

—Me alegro de que me entiendas tan bien, Carmencita. Imagínate ahora un cuerpo cualquiera, un trozo de hierro, por ejemplo. Ese trozo de hierro puede estar, en cuanto a densidad, en la situación en que de ordinario vemos el hierro, o sea, formando una masa compacta, dura, conservando la forma o figura que tiene, mientras no se le someta a golpes, presiones u otros esfuerzos extremadamente violentos; puede estar también, desde el mismo punto de vista de la densidad, en un estado semejante al del agua, tal como ordinariamente la vemos, o sea,

en situación que permita recogerlo en un recipiente, como crisol, vaso o cualquiera otro cacharro hueco, adaptándose en su figura a la que tiene el hueco del recipiente, y puede, por último, convertirse en una materia tan fina y sutil como el aire que respiramos.

Pues bien; en la primera de esas tres situaciones, los átomos que componen ese trozo de hierro están a cierta distancia unos de otros; no te digo que sea esa distancia pequeña o grande, porque el concepto del tamaño es puramente relativo; digo solamente que hay una cierta distancia entre cada uno de los átomos que componen ese trozo de hierro y todos los demás átomos vecinos; en la segunda de las tres situaciones dichas, en aquella en que el trozo de hierro toma una forma parecida a la del agua, las distancias entre los átomos del trozo de hierro son mayores que las que había entre ellos cuando tenía forma compacta, porque observamos que la materia toda ocupa mayor espacio, que tiene mayor volumen; en la tercera de las expresadas situaciones, cuando el trozo de hierro se vuelve de la naturaleza del aire, las distancias entre sus átomos tienen que ser enormemente mayores que las que antes los separaban, pues el cuerpo se ha dilatado hasta ocupar un espacio miles de veces mayor que el primitivo.

Esas tres situaciones que puede tomar la materia se llaman *estados*; el primero es el estado *sólido*; el segundo, el *líquido*; el tercero, el *gaseoso*.

so. Estos dos últimos estados, el líquido y el gaseoso, se comprenden en la denominación común de estado *fluido*.

—Te he seguido atentamente en toda tu peroración. Luisito, y creo haber entendido muy bien todo lo que me has dicho; pero necesito que me contestes a algunas preguntas para quedar satisfecha en mi curiosidad por saber las cosas de la Naturaleza.

En primer lugar, ¿qué quisiste decirme con aquello de los límites que deben traspasarse para que un cuerpo pase de un estado a otro de esos tres que has dicho?

—Pues quise decirte, Carmencita, que no basta que se separen entre sí los átomos de un cuerpo para que se convierta de sólido en líquido, o de líquido en gaseoso, sino que esa separación ha de ser de cierto grado, o, diciéndotelo de otra manera para no dejar oscura mi idea, que en la larga escala que un cuerpo tiene que recorrer para llegar desde el estado sólido al gaseoso, hay un tramo considerable, cuyos grados o peldaños pertenecen al estado sólido; otro tramo que sigue al anterior, y también muy largo, comprendido todo él en el estado líquido, y otro tercero y último, correspondiente al estado gaseoso.

Con esto quiero decirte que pueden variar bastante las distancias que median entre los átomos de un cuerpo dentro del estado sólido, y lo mismo ocurre dentro del líquido y del gaseoso. ¿Entiendes lo que quiero decirte?

—Es clarísimo — replicó Carmencita —. Pero contéstame a esta otra pregunta: ¿Cómo puede saberse que hay distancias entre unos y otros átomos de los cuerpos y que esas distancias crecen o menguan, si no hay modo de distinguir los átomos?

—No es preciso ver los átomos para saber que hay distancias entre ellos; pues el aumentar o disminuir el volumen de un cuerpo tiene que ser a consecuencia de que crezcan o mengüen esas distancias; la razón lo dice—le replicó Luisito.

—¿Y de qué manera se puede hacer que un cuerpo se agrande o se achique, como ese trozo de hierro que pusiste por ejemplo? ¿Acaso batiéndolo o prensándolo?—volvió a preguntar Carmencita.

—Desde luego, si se prensa o se bate un pedazo de hierro se le puede hacer cambiar de forma—contestó Luisito—; pero si algo puede crecer o menguar su volumen por esas operaciones, tiene que ser muy poco, pues lo que gane en largo perderá en grueso, y el espacio que ocupe vendrá a ser el mismo.

Hay otro medio de hacer que un cuerpo se dilate, y consiste en calentarlo, o, para decirlo en términos menos vulgares, en someterlo a la acción del calor. Un trozo de hierro, como el que te he puesto por ejemplo, calentado al fuego, crece en todos sentidos y aumenta, por lo tanto, en volumen, lo cual prueba que los espacios que

median entre sus átomos se han hecho mayores de lo que eran antes de someterlo a esa prueba.

Si el calor que ese trozo de hierro sufre es muy alto, el cuerpo, después de aumentar mucho en volumen, pasa al estado líquido, ocupando un volumen mucho mayor que cuando estaba en estado sólido; y si todavía aumenta el calor a que se le somete, pasa, después de haber crecido en volumen dentro del estado líquido, al estado de gas, ocupando entonces un volumen miles de veces mayor que el que tenía en el estado líquido, y, naturalmente que en el estado sólido.

—¿Y se ha podido calentar el hierro hasta volverlo gas, Luisito? Me parece eso algo fuerte.

—Hoy, mediante procedimientos eléctricos, se ha llegado, a lo que creo, a producir un calor tan intenso, que se ha podido reducir a estado de gas varios metales que ordinariamente vemos en estado sólido. Hasta el platino, que es el metal que más resiste el calor sin fundirse, se ha volatilizado, lo cual quiere decir que se ha reducido al estado de gas, por medio de la corriente eléctrica.

Puede asegurarse, hasta donde cabe asegurar cosas que ocurren tan lejos de nosotros, que en el Sol, donde debe de hacer un calor espantoso, se hallan en estado de gas no sólo los metales todos que conocemos aquí en la Tierra, sino las tierras, las piedras y cuantas materias hay en ella.

El aire que rodea el Sol se compone, a lo que

se cree, de hierro, cobre, plata, oro, carbón y otros materiales en estado de gas, que aquí tenemos en estado sólido. ¡Debe de ser aquello delicioso!

—Oye, Luisito, ¿y eso que ocurre con el hierro cuando se le calienta, ocurre también con todas las materias que hay en el mundo?

—Con los metales, sí, Carmencita, y también con muchas otras materias que no son metales. al aire, por ejemplo, puede reducirse al estado líquido, y hasta al estado sólido, enfriándolo lo suficiente y sometiéndolo al mismo tiempo a una gran presión, y al agua no hay que someterla a grandes diferencias de calor para que la veamos desde el estado de vapor que tiene en las nubes hasta el sólido en que se nos presenta en el hielo.

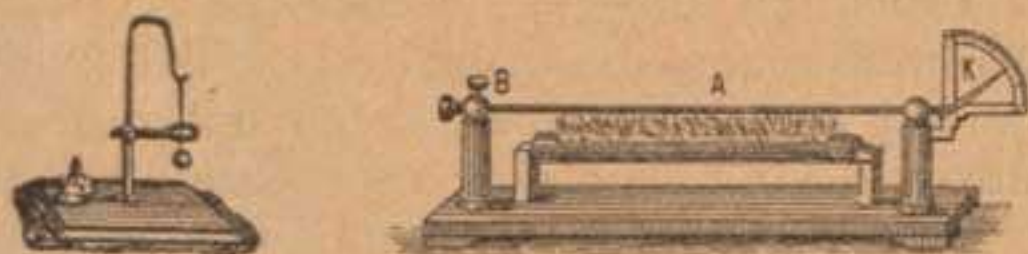
—¿Y por qué produce esos efectos el calor, Luisito?; ¿qué tiene que ver el calor con el estado y con las densidades de los cuerpos?

—Me llevas a cosas muy hondas y muy difíciles de explicar, Carmencita. El calor es un agente, o sea una fuerza, que produce en la materia el efecto de dilatarla, animando a los átomos que la componen de una tendencia a separarse unos de otros o a repelerse. Es una fuerza contraria a la de la atracción, que propende a acercarlos.

Cuando se somete un cuerpo al calor, sus átomos se van alejando unos de otros, hasta que, creciendo la intensidad del calor, pierden esos átomos la cohesión que los mantenía unidos, y el cuerpo se liquida. Si sigue el calor creciendo, la

fuerza repulsiva prepondera de tal manera, que el cuerpo se dilata extraordinariamente hasta convertirse en gas; estado éste de los cuerpos en el cual los átomos están animados de una violentísima tendencia a separarse y a huir unos de otros, como impulsados por resortes de tremenda energía.

Esa fuerza es la que papá nos dijo que se llama *expansión, presión, tensión, fuerza elástica* de un gas, y conviene que lo tengas muy presente para



La dilatación de los cuerpos sólidos por la acción del calor, se demuestra en los gabinetes de Física por medio de dos aparatitos muy sencillos. El uno, consiste en un anillo y una bolita; el otro, en una barrita metálica, cuyo extremo se apoya contra una palanquita giratoria, cuyo extremo corre por un arco graduado. La bolita pasa francamente por el anillo cuando está fría, pero si se la calienta en la llama de una lamparilla de alcohol, no cabe ya en el hueco del anillo. La barra del otro aparato, al ser calentada, se alarga haciendo que la palanquita giratoria corra por el arco graduado.

que entiendas la relación o parentesco que hay entre la causa que hace remontarse los globos y la que hace andar las máquinas de vapor, las de aire caliente y las de gasolina, que es el tema de que, en definitiva, estamos tratando.

—De todo lo que vienes diciendo, saco en limpio — dijo Carmencita — que un cuerpo en estado sólido es más denso, o más compacto, o más macizo, o está más trabado que en estado líquido, y

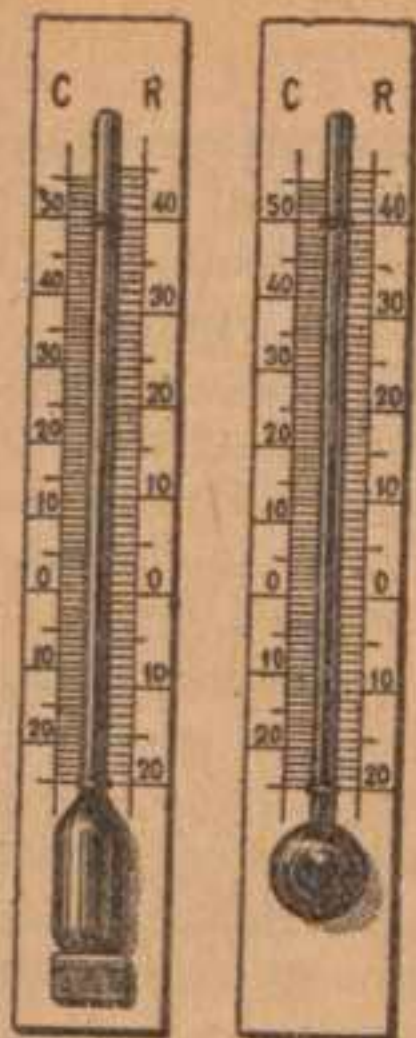
que sucedan esos hechos que expones como argumentos en contra de lo que te vengo diciendo, se ve que no lo destruyen.

Has de tener en cuenta que los cuerpos no se componen sólo de átomos y de moléculas, sino también de otras infinitas partecillas de muy vario tamaño, a las cuales no se les da nombre; porque no sería posible, ni en el orden de la magnitud ni en ningún otro, distinguir hasta tal punto la variedad en todas sus escalas.

Al hombre, en sus primeros años, lo llamamos niño, así acabe de nacer, como tenga dos, tres, cuatro y hasta diez o más años; desde los doce o catorce a los veinte, lo llamamos mancebo; de los veinte en adelante, adulto, hasta que llega a una edad en que lo calificamos de viejo.

No tenemos nombres con que distinguir los infinitos estados por que pasa el hombre desde que nace hasta que llega a la extrema vejez, y, sin embargo, ¡qué hondas diferencias entre el niño recién nacido y el de dos años, entre el niño de dos años y el joven de catorce, entre éste y el de dieciocho, y entre el adulto de veinte y el de treinta, y lo mismo te digo de todas las demás edades!

Lo mismo ocurre con la materia en sus diferentes grados de división. Entre la molécula y el átomo hay una escala de magnitudes interminable; entre la partícula pequeñísima de las que entran en el polvo y la molécula, otra no menos larga.



Termómetro.

Los efectos de dilatación producidos por el calor son aún más notables en los líquidos que en los sólidos. El termómetro, instrumento para medir la temperatura, se funda en la sensibilidad extraordinaria del mercurio, que es un metal ordinariamente líquido, a la acción del calor. Las variaciones de temperatura, por pequeñas que sean, son acusadas por la dilatación del mercurio marcado en un tubo de vidrio terminado en un depósito por su extremo inferior. Para las temperaturas extremadamente bajas, en que el mercurio se hiela, se le sustituye en los termómetros por el alcohol, que resiste mucho más en estado líquido la acción del frío.

que en estado líquido es más denso que en estado de gas; ¿no es eso lo que me has dicho?

—Eso mismo—contestó Luisito— Los átomos de un cuerpo en estado sólido están más próximos unos a otros que en el líquido, y en el líquido lo están más que en el gaseoso.

—Pero se me ocurre una duda, Luisito. Si es así como dices, ¿cómo se explica que haya muchísimas maderas que floten en el agua, y que hasta el hielo, que es agua en estado sólido, flote en el agua líquida? Porque para que floten en el agua esos cuerpos tienen que pesar menos que ella, y decir que pesan menos que el agua es decir que son menos densos que el agua. Eso echa por tierra todo lo que me has dicho.

—A primera vista parece así, Carmencita; pero estudiando bien las causas de

—Estás elocuente, Luisito. Te aconsejo que pidas turno para hablar en la conferencia pública que van a celebrar en el teatro los intelectuales de la ciudad el domingo que viene. Puede ser la primera etapa en el camino que te lleve de átomo a molécula, de molécula a diputado provincial, de diputado provincial a diputado a Cortes y de diputado a Cortes a ministro, o, por lo menos, a gobernador civil. Por algo se empieza.

—Mucho te burlas de mí, Carmencita; pero no creas que sería yo el primero que de átomo llegara a ministro.

—Ni tampoco que llegara a ministro, y aun a mucho más que ministro, sin traspasar del tamaño del átomo, Luisito... Pero sigue tu explicación, que me interesa. Quiero ver por dónde sales.

—Pues te iba a decir, Carmencita, que entre los infinitos grados de división de la materia comprendidos entre el átomo y la primer partícula de ella que podemos distinguir a simple vista, los hay visibles con el microscopio y los hay todavía más menudos, que sin llegar, ni con mucho, a la pequeñez de la molécula, no pueden ya descubrirse con ningún microscopio, por potente que sea.

Supongo que sabrás lo que es un microscopio, Carmencita.

—Sé que es un antejo de aumento que permite ver cosas menudísimas de un tamaño mucho mayor que el que verdaderamente tienen; pero no sé la razón de su mecanismo.

—Ni yo tampoco, Carmencita; porque no he estudiado todavía la Óptica, que es la parte de la Física que trata de las lentes. Lo único que sé es que consiste en una combinación de lentes que permite ver las cosas menudas miles de veces más grandes de lo que son. Una pulga, vista por el microscopio es un animalucho enorme, que da miedo.

Hay cuerpos que nos parecen lisos, que, vistos por el microscopio, presentan grandes huecos y asperezas en su superficie que nos hacen comprender que esos cuerpos se componen de partecillas menudas, entre las cuales median espacios vacíos. Esos espacios vacíos que separan unas de otras las partículas de los cuerpos, se llaman *poros*.

Pero aunque hay poros que pueden estar al alcance de la vista desnuda, o a la vista ayudada por el microscopio, también los hay que no pueden ser apreciados con ningún microscopio, por perfecto que sea.

Para que te hagas cargo de la pequeñez a que pueden llegar los poros de algunas materias, voy



Microscopio.

El microscopio es un pequeño instrumento de óptica, fundado en el poder aumentativo de las lentes respecto de las imágenes de los objetos que se miran a través de ellas. Mediante combinaciones de lentes, se aumenta hasta miles de veces el tamaño de las imágenes. El microscopio ha prestado inapreciables servicios al estudio de las ciencias naturales.

a referirte un experimento que se hace en los gabinetes de Física. Yo no lo he visto practicar nunca; pero lo he leído en la Física y papá me ha dicho que lo presencié una vez.

Consiste en llenar completamente de agua una bola hueca de oro y cerrarla después perfectamente por medio de un tapón metido a rosca en la boquilla por donde se introdujo el agua. Hecho esto, se golpea con un martillo la bola de oro



hasta abollarla, y entonces el agua encerrada en la bola, al verse comprimida, por reducirse el hueco de ella, suda a través de la pared metálica, presentándose en forma de rocío.

Ese rocío ha tenido que pasar por los poros de la superficie del oro, y únicamente por eso se sabe que hay tales poros, pues ningún microscopio, por potente que sea, permite distinguirlos.

—Esos poros no serán los huecos que hay entre las moléculas o entre los átomos, ¿verdad, Luisito?

—¡Ca! Estos poros de que te estoy hablando, comparados con los huecos que hay entre las moléculas y entre los átomos, son puertas cocheras; pero ¿qué digo puertas cocheras?: son de tamaño enormísimo, tan grande como la distancia

que hay desde la Tierra al Sol comparada con el pinchazo de una aguja. Esos poros de la superficie de la bola de oro de que acabo de hablarte, dejan hasta pasar la luz a través de ellos, pues me ha dicho papá que, a través de una lámina de oro reducida a extraordinaria finura, se ve la luz de color verde.

—Es que pudiera pasar la luz a través del oro como pasa a través del vidrio, aunque sea muy grueso—dijo Carmencita—; y no creo—añadió—que pase a través del vidrio porque tenga poros el vidrio; pues entonces pasaría mejor a través de una cortina de muselina, que, sin duda ninguna, tiene poros o huecos mayores que el vidrio: en eso habrás de darme la razón.

—Te la doy, Carmencita, en cuanto a que el pasar la luz a través del vidrio no sea porque el vidrio tenga poros, aunque seguramente las tiene; pero no nos desviemos de nuestro asunto, porque no acabaríamos nunca. Las cosas de la Naturaleza son muy complicadas, y están tan encadenadas unas con otras, que el tratar de cualquiera de ellas puede conducir insensiblemente a tratar de todas.

Te estaba diciendo que los poros son los huecos o espacios vacíos que hay entre las partículas, mucho mayores que las moléculas y los átomos, que componen los cuerpos sólidos. Te añadiré que también en la porosidad hay grandes gradaciones y diferencias. Hay poros grandísimos, como los de la esponja, el corcho, la piedra

pómez y otros cuerpos; y los hay tan menudos, que ni con el mejor microscopio se distinguen.

Teniendo en cuenta la existencia de poros, que es lo mismo que decir oquedades o huecos en la masa de los cuerpos sólidos, te explicarás, Carmencita, que haya cuerpos que, aun con densidad mayor que el agua, floten en ella. Muchos cuerpos que cuando forman bulto o volumen apreciable flotan en el agua, se van a fondo si se les reduce a polvo. El mismo hielo, que flota en el agua cuando está en témpanos o trozos, se va a fondo si se le muele o pulveriza.

Y es que, en realidad, esos cuerpos, considerados en su esencia íntima, son más densos que el agua. El hielo está formado por una especie de cristalizaciones o agujas entrelazadas, que dejan espacios bastante apreciables entre unas y otras.

Ahora voy a explicarte, Carmencita, lo que te dije antes sobre el vapor saturado, contestando a tu pregunta sobre si el vapor de agua obedece a la ley de Mariotte o de Boyle; pero es ya muy tarde y será mejor que lo dejemos para mañana.

IV

—Muchas honduras son esas, y podéis extrañaros al andar por ellas—dijo dos días después don Juan a sus hijos al verlos reunidos en su despacho, porque lo lluvioso del tiempo les había impedido salir al jardín como tenían por costumbre.

Había arrancado a don Juan esa observación la frase de *vapor saturado* que sorprendió en boca de Luisito hablando con su hermana.

—No crea usted, papá—contestó Luisito—, que sea fácil perderse yendo de la mano con Carmencita; pues escudriña y apura tanto las cosas, y se empeña en llevarlas tan derechas, que hay que saberlas bien o que confesar que no se saben para hablar sobre ellas. Iba a explicarle cuándo los vapores pueden asimilarse a los gase y cuándo no, y de eso creo estar muy bien enterado, porque puse mucha atención a lo que usted me dijo cuando me explicó las máquinas de vapor.

—Veamos si es como dices o si son ilusiones que te haces acerca de los quilates de tu sabiduría—le dijo don Juan—. Puedes empezar tu explicación, Luisito: tienes la palabra.

—¿Sabes bien, Carmencita, lo que son estados de los cuerpos, o será preciso que vuelva a decir-telo?—comenzó diciendo Luisito.

—No es preciso que repitas nada de lo que me dijiste anteayer, pues quedé muy bien enterada de todo ello; lo que sí tendrás que hacer es ampliar algo tu explicación, pues quedó incompleta. Me dijiste que los cuerpos pueden hallarse en estado sólido, en estado líquido y en estado gaseoso; que en el estado sólido los átomos están más cerca unos de otros que en el líquido, y que en el líquido, aunque menos apiñados que en el sólido, lo están mucho más que en el gaseoso, y que por eso un cuerpo en estado sólido ocupa menos vo-

lumen que en estado líquido, y en estado líquido mucho menos que en el estado gaseoso: ¿no fue eso lo que me dijiste, Luisito?

—Eso te dije, y te dije también que los átomos de los cuerpos en estado de gas están animados de una fuerza repulsiva, unos respecto de otros, que tiende a dilatar extraordinariamente esos cuerpos. También te dije que esa fuerza expansiva de un gas es tanto mayor cuanto menor es el espacio que el gas ocupa, siempre que la cantidad de ese gas sea la misma, y que a la expresión de ese hecho se la llama ley de Mariotte o de Boyle.

—Y para que veas, Luisito, que me fijé bien en tus explicaciones, te recordaré que me dijiste también que el calor es una fuerza que lleva a los cuerpos del estado sólido al líquido y del estado líquido al estado gaseoso, animando a sus átomos de esa propensión a repelerse que dices, y que es contraria a otra fuerza que los llama a juntarse, y que es la fuerza de la atracción.

Ahora necesito que me contestes a estas preguntas: Supuesto que la fuerza de la atracción hace que estén apretados unos contra otros los átomos de un cuerpo sólido, y supuesto, también, que el átomo es una cosa pequeñísima, tan increíblemente menuda, que se dice que no tiene tamaño ninguno, por más que hemos quedado en que eso de no tener tamaño son cuentos, ¿por qué hay cuerpos sólidos fáciles de romper y otros que resisten los golpes más violentos y los esfuerzos más grandes sin romperse? ¿Por qué hay unos

cuerpos duros y otros blandos? ¿Y por qué cuando uno de esos cuerpos sólidos y durísimos se rompe, no se vuelven a pegar sus pedazos aunque se les junte y se les apriete unos contra otros? ¿Qué se hizo de esa fuerza de atracción que antes los unía? Y si el calor hace que los átomos de un cuerpo sólido se aparten unos de otros, y que el cuerpo se dilate o agrande, ¿por qué hay cuerpos sólidos, como los ladrillos, que se traban y endurecen con el fuego?

—¿No le decía yo a usted, papá, que no era fácil perderse yendo de la mano de Carmencita? ¡Eso sí que es meterse en honduras! ¿Quiere usted decirme si hay modo de contestar a esas preguntas? Yo, papá, le confieso que no sé cómo hacerlo.

—Ni yo ni nadie hay en el mundo capaz de contestar satisfactoriamente a muchas de esas preguntas ni a infinitas otras que pueden ocurrirse acerca de las cosas de la Naturaleza—dijo don Juan—. La verdad es que el espíritu del hombre tiene horror a lo complicado y busca por todos los caminos la manera de simplificarlo; pero esa simplificación y regularidad en que pretende encerrar la estupenda variedad y complicación de los hechos, está reñida con la verdad, en ciencias naturales, en historia, en filosofía y en todo.

Tengo para mí—prosiguió—que esa misma división de los cuerpos en sólidos, líquidos y gases tiene mucho de arbitraria y de falsa. Hay, en realidad, muchísimos más estados que esos.

Cuando hablamos de cuerpos sólidos, nos imaginamos un mazacote de hierro, o cosa parecida, cuya naturaleza clara, definida, no pueda prestarse a dudas; cuando hemos de tratar de cuerpos líquidos, sacamos, generalmente, por muestra el agua, que se halla en el mismo caso, y cuando de gases, el aire; pero ¡cuántas otras maneras y formas de existencia presentan los cuerpos de la Naturaleza que se rebelan contra la regularidad de esas sencillas clasificaciones!

Tienes razón y estás en tu derecho, Carmencita, en querer dilucidar los misterios que rodean a todos los hechos naturales; pero te advierto que al fondo de la ciencia humana se llega muy pronto, y que sólo hallarás, a poco que quieras ahondar en ella, palabras vacías de verdadero significado y teorías ingeniosas edificadas sobre el vacío. Echa, pues, a un lado escrúpulos; prescinde de sutilidades; entra por todas como la romana del diablo, y pon atención a lo que Luisito va a decirte sobre gases y vapores, pues está fundado en la experiencia y debe admitirse como verdadero, por lo menos, relativamente hablando. Sigue, pues, tu explicación, Luisito.

—Entre los vapores y los gases no hay otra diferencia que en la distancia que los separa del estado líquido—dijo Luisito—. Un vapor está mucho más cerca del estado líquido que un gas. Para volver un gas líquido hay que hacer dos cosas: someterlo a una presión enorme que acerque unos a otros sus átomos, y someterlo al mismo

tiempo a un frío más que glacial que ayude a producir el mismo efecto.

—¿A producir qué mismo efecto dices?— preguntó Carmencita.

—A acercar unos a otros los átomos del gas—contestó Luisito—. ¿No te he dicho ya que el calor tiende a dilatar los cuerpos separando entre sí sus átomos? Pues el frío tiende a reducir el volumen de los cuerpos aproximando sus átomos. Con una presión enorme y con un frío terrible se consigue liquidar el aire; eso es cosa tan corriente hoy, que se ha convertido en una industria—agregó.

Con el vapor ocurre una cosa muy distinta, y me refiero más particularmente al vapor de agua, que es el que tenemos más costumbre de ver y tratar y que más aplicaciones tiene.

—Sí—dijo Carmencita.—; es, de todos los vapores, el que tratamos con más confianza.

—¿Ves, papá, cómo echa Carmencita a barato las cosas más serias?

—¡Vamos, sigue!—exclamó Carmencita—No he pretendido ofender al señor Vapor de agua; lo tengo por un personaje respetabilísimo, digno de toda clase de atenciones y miramientos.

—Pues decía—prosiguió Luisito—que el vapor de agua, y lo mismo digo de otro vapor cualquiera, difiere de un gas en que es muy corto el camino que tiene que andar para convertirse en líquido. El agua se vuelve facilísimamente vapor; pero también el vapor se vuelve no menos fácil-

mente agua. Por pequeña que sea la presión o por leve el frío a que se le someta, pasa al estado líquido y se convierte en agua.

Cuando el vapor, por estar recalentado, se halla algo distante de volver al estado de agua, posee más plenamente las propiedades de los gases, y se cumple en él la ley por la cual la tensión o fuerza expansiva que lo anima está en razón contraria del volumen o capacidad que ocupa; pero si el vapor está muy cercano a volverse agua, no se sujeta a esa ley, y si se le somete a una presión mayor que la fuerza expansiva que lleva en sí, no crece esa tensión o fuerza expansiva interna del vapor conforme mengua en volumen, sino que conserva la que tenía, reduciéndose para ello a agua, al menguar su volumen, una parte de ese vapor.

Al vapor que está en ese caso, quiero decir, al que está tan cercano a convertirse en agua que pasa a serlo, en parte, por poco que se le comprima, para que el que permanece en estado de vapor conserve la fuerza expansiva que tenía antes de comprimirlo, se le llama *vapor saturado* o *vapor en estado de saturación*.

De esa clase es el vapor que se encierra en las calderas de las máquinas, donde está en contacto con el agua que ocupa gran parte de la misma caldera. ¿He explicado bien la cosa, papá?

—Para mí, sí; pero no sé si también para Carmencita. ¿La has entendido, Carmencita?

—Lo que ha dicho Luisito lo he entendido per-

fectamente; pero se me ocurren muchas cosas sobre el vapor, de que no ha hablado una palabra.

—Mira, Carmencita, no me había propuesto tratar de todas las cosas que se refieren al vapor, sino decirte nada más lo que se entiende por vapor saturado, para contestar a la pregunta que me hiciste días pasados acerca de si reza con el vapor de agua la misma ley que con los gases.

Te digo ahora que si el vapor de agua está lejos de su punto de saturación, está sujeto a la misma ley que los gases, pues viene a ser un gas como cualquiera otro; pero que si está el vapor en su punto de saturación, no rige para él esa ley, pues deja de ser gas para convertirse en líquido a la menor presión que sobre él se haga.

Ahora dime qué otras cosas querías saber sobre el vapor de agua, para explicártelas, si puedo.

—Pues resuélveme esta duda que tengo—dijo Carmencita—. El agua se vuelve vapor cuando se la calienta, pero vuelve a convertirse en agua cuando se la enfría, según has dicho; ¿cómo, siendo así, hay nubes en todo tiempo, aunque haga muchísimo frío? ¿Por qué no caen al suelo convertidas en agua?

—Papá: le ruego que conteste usted a esa pregunta de Carmencita, porque yo no sé cómo hacerlo. Precisamente quería yo preguntarle a usted lo mismo, y no lo había hecho por falta de oportunidad.

—Me alegro de tener esta ocasión de corroborar lo que antes os dije sobre la falta de exacti-

tud en la división de los cuerpos en tres estados; porque aquí tenemos un estado más con que no suele contarse: el estado globular. Se supone que el agua de las nubes (o, por lo menos, de ciertas nubes, porque hay nubes de muy distintas clases) no se halla en estado de vapor ni tampoco en estado líquido, sino en ese estado globular que acabo de nombraros.

El agua forma, en ese estado, multitud de partículas pequeñísimas, cada una de las cuales puede ser asimilada a un globo en miniatura, que se sostiene por el aire caliente que encierra en su interior. Es muy poco conocida la constitución de las nubes, y se explica por la dificultad de estudiarlas.

Lo que puede asegurarse es que el agua reviste en ellas muy diversas formas o estados, que da a las nubes la variedad de aspectos con que se nos presentan. La disposición en que se halla el agua en las nubes es uno de los muchísimos misterios que para nosotros encierra la Naturaleza.

Cada una de las formas que toma el agua al caer sobre la tierra, sea la de rocío, escarcha, lluvia, granizo o nieve, responde a una de las muy distintas que tiene en las nubes.

—Creo, Carmencita—le dijo su hermano—, que, con todo lo que llevamos hablado, ya irás dándote cuenta del parentesco que hay entre la causa de que asciendan los globos y la que hace trabajar a las máquinas de vapor, ¿no es así?

—Voy vislumbrando algo, aunque todavía

confusamente; porque ya sabía yo que la máquina de vapor trabaja por la fuerza que hace en ella el vapor de agua que se produce en una caldera, y como me has dicho que el vapor lleva dentro esa fuerza expansiva que tantas veces has traído a cuento, me figuro que esa misma fuerza será la que hace moverse la máquina.

—Ni más ni menos, Carmencita. Esa fuerza que hace el vapor por dilatarse, y que tiene su origen en la que hacen sus átomos por alejarse unos de otros, es la que mueve a las máquinas de vapor.

—Imagínate, Carmencita, un cilindro hueco...

—¿Qué es un cilindro?—preguntó Carmencita, interrumpiendo a su padre, que era el que había comenzado a hablar, quitando a Luisito la palabra que hasta entonces había tenido.

—Olvidaba que tú no has estudiado Geometría, Carmencita, y que la palabra cilindro no es un termino vulgar. ¡Eal, tú, Luisito, explicale a tu hermana qué cosa es un cilindro.

—Cilindro es un volumen de forma redonda y larga, como el cuerpo de una botella, un rollete o cosa semejante. Mira, Carmencita, es una cosa así como este lápiz que tengo en la mano, o como...—y aquí se detuvo Luisito, mirando al mismo tiempo alrededor suyo, como buscando alguna cosa que presentar como ejemplo a su hermana.

—Como esa estufa que tenemos ahí delante—dijo a lfin, señalando a la estufa de hierro, de for-

ma cilíndrica, que había en la habitación, y que entonces estaba apagada por ser tiempo de verano.

—Pero un cilindro, ¿es macizo o hueco?; porque ese lápiz que me has enseñado es macizo, y la estufa es hueca—dijo Carmencita.

— Puede ser macizo o hueco, indistintamente—contestó Luisito—, pues la palabra cilindro se refiere sólo a la superficie externa del cuerpo, no a su masa. Una caña, un bastón, el cañón de una escopeta, el tubo de una chimenea, son cilindros. ¿Me has entendido, Carmencita?

—Perfectamente, Luisito. Si arróllo una hoja de papel de modo que se toquen, todo a lo largo, dos de sus bordes, que están uno enfrente del otro, haré la figura de un cilindro: ¿verdad, papá?

—Muy bien, Carmencita. Y es ejemplo que has puesto del papel arrollado es muy a propósito para dar idea de lo que es el cilindro; porque hace ver, de paso, la propiedad que tiene ese cuerpo geométrico de poder extenderse o desarrollarse sobre un plano—dijo don Juan.

Esa propiedad—dijo Luisito—la tiene igualmente el *cono*, cuerpo geométrico también redondo como el cilindro, pero no igualmente grueso en toda su longitud, como él, sino que va adelgazándose progresivamente hasta acabar en punta.

Es una figura así, como de cucurucho o pilón de azúcar, y también puede abrirse y desarrollarse en un plano, como el cilindro; pero con la di-

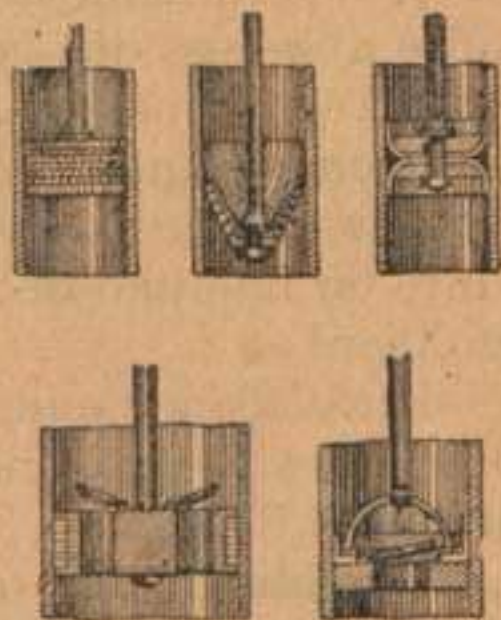
ferencia de que un cilindro abierto y extendido en un plano tiene figura como de una hoja cuadrilonga de papel, mientras que la figura de un cono abierto y extendido viene a ser la de un abanico abierto con varillas y todo.

—Muy bien, Luisito—dijo don Juan—. Has explicado muy bien lo que es un cono; pero lo que aquí nos interesa no es el cono sino el cilindro. Ahora proseguiré la explicación que iba a haceros y que interrumpiste tú, Carmencita, preguntando lo que es un cilindro.

Ya que lo sabes, figúrate un cilindro hueco de hierro, perfectamente alisado y pulimentado por dentro. Figúrate también otro cilindro de hierro, pero no largo y hueco, sino corto y macizo que entre tan perfectamente ajusta-

do al hueco interior del otro, que pueda correr a lo largo de él como corre el émbolo de una jeringa por el cuerpo interior de ella.

Al primer cilindro, al hueco, lo llamaré siempre cilindro, y al corto y macizo, que puede correr de arriba abajo por el otro, le llamaré siempre émbolo. El émbolo tiene por objeto hacer como de tabique movable o corredizo dentro del cilindro, dividiendo su espacio interior o hueco



Cilindros y émbolos.

en dos cámaras o compartimientos, que variarán de capacidad o tamaño en cada momento, según el lugar que ocupe el émbolo, en el supuesto de que se le haga correr a lo largo del cilindro. ¿Me explico bien, o necesito aclarar algo mi explicación para que me entendáis?

—Yo le entiendo a usted perfectamente—dijo Luisito.

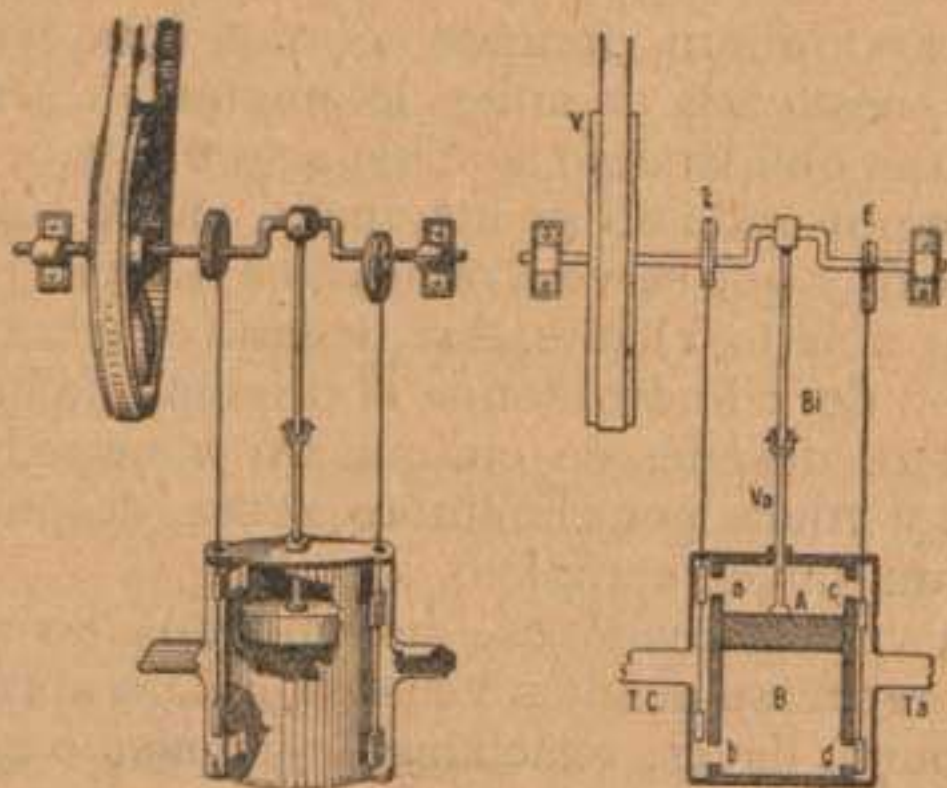
—Y yo también, papá—dijo a su vez Carmencita—, y para demostrarle que le he entendido, le diré que esos dos compartimientos que usted dice, no serán más que uno solo cuando el émbolo esté en cualquiera de los dos extremos del cilindro, y que serán dos iguales cuando el émbolo esté en la mitad de lo largo del cilindro: ¿no digo bien?

—Perfectísimamente, Carmencita; veo que puedo seguir mi explicación sin miedo de que no me entiendas.

Ahora imagínate que las dos extremidades del cilindro están cerradas por sendas tapas o piezas, cerca de cada una de las cuales hay abiertos en la pared del cilindro dos agujeros u orificios: uno de los agujeros de cada uno de los extremos del cilindro comunica por un tubo con una caldera donde se produce vapor de agua; los otros dos agujeros dan al aire libre. Completaré mi descripción diciéndote que cada uno de los dichos agujeros puede abrirse o cerrarse a voluntad del operador por medio de su correspondiente llave.

Así las cosas, y suponiendo que todas las lla-

ves están cerradas y el émbolo en uno de los extremos del cilindro, abro la llave que comunica ese extremo con la caldera y la que comunica el otro extremo con el aire. El émbolo, empujado por el vapor, marchará hacia el extremo opuesto del cilindro, empujando, a su vez, al aire que tiene delante de sí y obligándolo a escaparse por el agujero abierto en comunicación con el exterior.



Corte teórico de una máquina de vapor.

- B*, cilindro.
- A*, émbolo.
- a, b*, conductos por donde entra el vapor en el cilindro.
- c, d*, conductos por donde sale el vapor después de haber trabajado.
- V, a*, vástago del émbolo.
- T, C*, tubo que comunica con la caldera.
- T, a*, tubo que comunica con el aire libre.
- B, i*, biela.
- E, E*, excéntricas que mueven los vástagos de las válvulas.
- V*, volante.

Cuando el émbolo, después de recorrer todo el largo del cilindro haya llegado al final de su carrera, cierro la comunicación abierta con el aire libre del extremo del cilindro adonde ha venido a parar el émbolo, y abro la que lo comunica con la caldera, y al mismo tiempo cierro la comunicación con la caldera del extremo contrario, que estaba abierta, y abro la del mismo extremo con el aire.

El vapor ahora, obrando sobre la cara del émbolo opuesta a la de antes, lo empuja en sentido contrario, obligándolo a volver a su punto de partida, impulsando en su marcha al vapor que antes entró, y que se verá obligado a escapar por el orificio abierto al aire. Así llegará el émbolo al extremo del cilindro donde al principio lo hemos supuesto, después de cumplir un viaje redondo de ida y vuelta por el cilindro, o sea, después de hacer un vaivén completo.

Una vez efectuado ese movimiento de vaivén, puede repetirse cuantas veces se quiera abriendo y cerrando llaves, exactamente lo mismo que la primera vez.

Ahí tenemos ya un cuerpo, el émbolo, animado de un movimiento rectilíneo alternativo, esto es, de atrás adelante y de adelante a atrás, cuyo agente es la fuerza expansiva del vapor de agua, y que puede durar indefinidamente, mientras haya vapor en la caldera, o sea, mientras haya agua que echar en ella, y combustible con que calentarla.

¿Has comprendido bien, Carmencita, cómo puede lograrse, mediante la fuerza expansiva del vapor de agua, disponer de una pieza de hierro que marche hacia adelante y hacia atrás por tiempo indefinido y con energía bastante para transmitir su movimiento a un mecanismo o instrumento cualquiera capaz de efectuar un trabajo?

—Creo haberme hecho cargo perfectamente de su explicación, papá. El vapor de agua de la caldera, con la fuerza de dilatación que lleva dentro de sí, empuja al émbolo hacia adelante y hacia atrás, alternadamente y lo hace ir y venir horas y horas; lo entiendo muy bien; pero, ¿tanta ventaja nos trae eso? ¿No podrían dos o tres hombres empujar el émbolo para acá y para allá y conseguir lo mismo?

—Verdad es, Carmencita; pero dos o tres hombres no pueden hacer más fuerza que la que tienen, que es poquísima comparada con la que puede hacer el vapor. El vapor, aunque no tenga una tensión excesiva, puede efectuar trabajo enorme, y te harás cargo de ello considerando que actúa a la vez sobre todo lo que lo rodea, y por lo tanto, sobre toda la superficie de la cara del émbolo, que puede ser muy grande. Hay máquinas que trabajan con vapor a muy poca presión; tan poca, que puede ser menor que la de la atmósfera.

—Eso sí que no lo entiendo, papá— dijo Luisito.

—¿Qué dificultad encuentras?—le preguntó su padre.

—¿No ha dicho usted que el émbolo se mueve empujado por el vapor que actúa contra una de sus caras, que es la que en ese momento mira a la parte del cilindro que está en comunicación con la caldera?

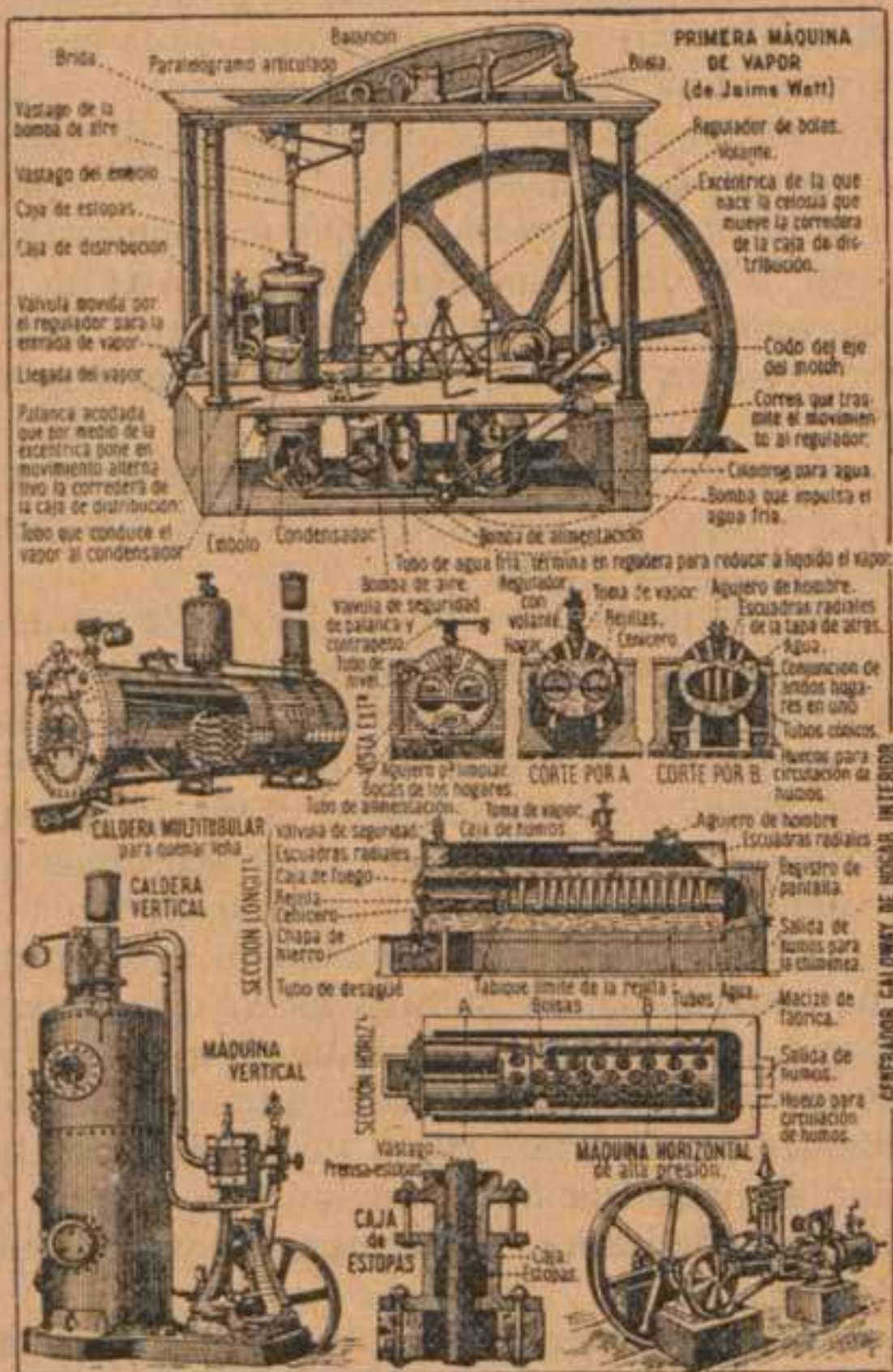
—Cierto es—le contestó don Juan.

—¿Y no nos ha dicho usted también que la cara contraria del émbolo mira en ese momento a la parte del cilindro que está en comunicación con el aire?

—Así lo he dicho.

—Pues si el émbolo es empujado por una de sus caras por el vapor, y por la otra por el aire, ¿cómo puede vencer la presión del vapor a la del aire cuando la del aire sea mayor que la del vapor?

—Porque en las máquinas de vapor de baja presión, que así se llaman esas en que el vapor de la caldera tiene muy poca tensión más que la de la atmósfera o menor que la de la atmósfera, el cilindro no está en comunicación con el aire libre por un lado y con la caldera por el otro, sino por un lado con la caldera y por el otro con un espacio cerrado, llamado *condensador*, donde va a parar, por medio de un tubo, el vapor que ya ha trabajado, y recibe allí una lluvia de agua que lo enfría, volviéndolo al estado líquido, encargándose de extraerlo de allí, ya vuelto agua, una bomba movida por la misma máquina, la cual ayuda a mantener vacía de aire y de vapor la capacidad del condensador.



Máquinas de vapor.

De esa manera, el émbolo es empujado, por una cara, por la presión del vapor de la caldera, sin encontrar resistencia de aire contra la otra cara, la cual está en ese momento en comunicación con el condensador, donde reina el vacío, o, por lo menos, una presión bajísima, siempre muy inferior a la de la atmósfera. El émbolo se mueve, pues, como atraído por una ventosa que actuase sobre la cara de él que mira hacia el condensador.

—Y en las máquinas en que tiene gran tensión el vapor de la caldera, ¿no hay condensador?—preguntó Luisito.

—No es necesario que lo haya—le contestó don Juan—, porque la presión del vapor que actúa sobre una de las caras del émbolo, siendo mayor que la del aire que actúa contra la otra, obliga al émbolo a moverse en el sentido en que es impulsado; pero con todo, hay máquinas que trabajando a alta presión de vapor tienen también condensador, y, en tal caso, la presión que actúa para mover el émbolo es la que tiene el vapor de la caldera, aumentada en quince libras más sobre pulgada cuadrada, que es la presión ordinaria del aire, la cual, si no hubiera condensador, se opondría a su movimiento, y que, habiendo condensador, lo favorece en vez de contrariarlo.

—Entonces, ¿por qué no tienen condensador todas las máquinas de vapor?—preguntó Luisito.

—Es cuestión de economía, de espacio, de can-

tividad de agua de que se disponga y de otras circunstancias—contestó don Juan—. Así, las máquinas de vapor que han de ocupar poco espacio; las que han de transportarse ellas mismas o han de ser transportadas de un lugar a otro, donde puede haber o no la suficiente cantidad de agua para alimentar el condensador; aquellas en que el mayor o menor gasto de combustible es cuestión secundaria, comparada con otras ventajas derivadas del objeto a que la máquina se destina, no suelen tener condensador y trabajan, generalmente, a presiones muy altas.

—Lo que yo no comprendo muy bien, papá—dijo Carmencita—; es que con esas presiones de unas cuantas libras por pulgada cuadrada que puede hacer el vapor, como usted nos ha dicho, sea tan tremenda la fuerza de esas máquinas.

—Fijaos bien—contestó don Juan—en que la presión del aire sobre cualquier punto situado al nivel del mar, presión que es la que se llama *atmosférica*, es de quince libras sobre cada pulgada cuadrada, y equivale, como ya os he dicho hace días, al peso de una columna de agua de diez metros de altura, y fijaos también en que la presión del vapor en una caldera es, muchas veces, de cuatro, cinco, seis y aun más atmósferas, y os haréis cargo de lo enorme de la fuerza que una máquina puede poner en acción.

Imaginaos un émbolo del tamaño de esa mesita que ahí veis—añadió don Juan, indicando un velador que habrían podido abarcar los niños

agarrados de las manos—, y que sobre ese émbolo gravita una columna de agua que tenga tres o cuatro veces la altura de la torre de la iglesia, y os haréis cargo de la fuerza que impele a ese émbolo a moverse.

La capacidad de trabajo de las máquinas de vapor se aprecia y mide en *caballos de vapor*; y se llama caballo de vapor al trabajo de levantar 75 kilogramos a un metro de altura en un segundo de tiempo.

—Otra cosa, papá—dijo Carmencita—. Nos ha dicho usted que por medio de la fuerza del vapor se consigue que un émbolo se esté dando paseos hacia adelante y hacia atrás tanto tiempo como se quiera. Por muy violento que sea el impulso que lleve ese émbolo y por muy grande que sea el peso que pueda arrastrar en sus idas y venidas, ¿qué se consigue con eso, si ese émbolo está encerrado en un cilindro de hierro que no deja siquiera que se vea? ¿Cómo puede aprovecharse el movimiento de ese émbolo?

—Es que, en mi deseo de daros una idea general sobre la manera de funcionar las máquinas de vapor, me limité a presentároslas en esqueleto, por decirlo así, prescindiendo de las mil circunstancias variables que puede haber en ellas y de los muchísimos órganos, esenciales unos y accesorios otros, de que constan.

Por lo pronto, os diré que ese émbolo va montado en la punta de una barra o varilla de hierro que atraviesa por un agujero una de las tapas

que cierran el cilindro, agujero de paredes muy bien alisadas y pulimentadas, para que corra por él suavemente la barra, sin dejar paso al vapor ni al aire; de modo que ese mismo movimiento de vaivén del émbolo se transmite a la barra en que va montado, y que sale fuera del cilindro.

Después, esa barra, por medio de órganos mecánicos adecuados, hace girar un eje muy grueso, llamado *eje motor*, por ser el órgano principal de la máquina, cuyo movimiento transmite a todas las máquinas operadoras dependientes de ella, en el cual eje va montada una rueda muy grande y pesada, llamada aquí *volante*, y *rueda voladora* en otras partes.

La máquina de vapor está constituida, en esencia, por la caldera, donde se origina la fuerza que la anima, por el cilindro y por el émbolo; pero esos tres órganos solos de nada servirían sin la barra o vástago del émbolo y sin el eje motor, que recibe su movimiento de rotación del de vaivén de ese vástago.

En el eje motor van montados, además del volante, otros órganos, como los que abren y cierran las válvulas o llaves que rigen la entrada y salida del vapor en el cilindro; la bomba que alimenta de agua la caldera y la que extrae el agua del condensador, cuando lo hay, la cual se llama *bomba de aire*.

Al conjunto de todos los órganos que llevo enumerados y algunos más, entre los cuales merece consignarse el *regulador*, se le llama *máqui-*

na de vapor; pero no os vayáis a creer que sean iguales todas las máquinas de vapor. Hay infinidad de modelos de ellas, y aun algunas que carecen de ciertos órganos de los que os he dicho, o que los tienen dispuestos de otras maneras.

Así, por ejemplo, la bomba de aire no está movida por el eje motor en las máquinas fijas de balancín, sino directamente por el balancín mismo, mediante una barra o varilla que va a parar al émbolo de la dicha bomba.

Otras máquinas, como las locomotoras, no tienen volante. En las locomóviles, el mismo volante, montado en el eje motor, transmite directamente su movimiento, por medio de una correa sin fin, a la máquina operadora o a otro eje que lleva las poleas necesarias para comunicar su rotación a las máquinas operadoras, que suelen ser muchas.

—¡Ay, papá!—exclamó Carmencita—Está usted diciendo muchas cosas de que me quedo enteramente en ayunas. ¿Qué es regulador? ¿Qué son máquinas operadoras? ¿Qué son máquinas de balancín? ¿Qué son máquinas locomotoras y locomóviles? ¿Qué quiere decir correa sin fin? ¿Para qué sirve el volante?

—Vamos por partes, Carmencita—le replicó su padre—. Voy a comenzar por contestarte a lo último que has preguntado, explicándote para lo que sirve el volante.

Ya sabes lo que es, porque antes lo dije: una rueda muy grande y pesada que va montada en

el eje motor de la máquina. Tiene por objeto regular la energía, haciendo que la que sobra en aquellos momentos en que la máquina no tiene que hacer grandes esfuerzos se reserve para aquellos otros en que le es necesario desplegarla mayor que la ordinaria. El volante es, en pocas palabras, un depósito de energía.

Como supongo que no has de comprenderme sino muy a medias (ni es posible que sea de otra manera), te pondré un ejemplo que te permitirá hacerte mejor cargo de mis razones.

Figúrate un carro muy pesado tirado por uno o más caballos y andando por un camino formado por pequeñas subidas y bajadas que se suceden unas a otras. Al bajar una de esas cuestas, no tendrán los caballos que hacer esfuerzo alguno, porque el mismo peso del carro favorece su movimiento; en cambio, al subir las cuestas no bastaría la fuerza de los caballos para arrastrar el carro; pero el impulso que ya trae el carro por la bajada anterior, ayudando a los caballos, les permite vencer la resistencia que ahora encuentran. El carro va así, por virtud de su mismo peso, aprovechando en las subidas la energía que reservó en las bajadas.

El volante, animado de la velocidad que la máquina le imprime, es un verdadero almacén de energía. En los momentos en que la resistencia que la máquina encuentra es pequeña, se precipita la marcha del volante, y ese impulso que lleva ayuda a la máquina a vencer las resisten

cias que dificultan su marcha en los momentos difíciles.

Esto es darte idea, en forma muy poco científica, pero comprensible para ti, del oficio del volante. Y el ejemplo que te he puesto del carro te hará comprender, de paso, por qué las locomotoras no llevan volante. Te supongo enterada, Carmencita, de lo que es una *locomotora*, por más que es una de las palabras cuya explicación me has pedido.

—He oído muchas veces llamar locomotora a la máquina que arrastra los trenes de ferrocarril; pero como también he oído llamarla *máquina*, y máquina se llama también a las destinadas a otras tareas y operaciones, no sabía con seguridad si ese nombre de locomotora no se daba más que a las que arrastran trenes o también a las que hacen otra clase de trabajos—contestó Carmencita.

—*Locomotoras*—dijo don Juan—se llaman las máquinas cuyo trabajo consiste en moverse así mismas para trasladarse de un lugar a otro. No debe confundírselas con las *locomóviles*; pues éstas tienen por objeto hacer otra clase de trabajo que el de moverse a sí mismas, pero que puede llevárselas adonde se necesite que trabajen, para lo cual la máquina y la caldera van montadas sobre ruedas.

La locomotora se traslada a sí misma, y la locomóvil no, habiendo de ser trasladada por medio de caballos, bueyes, a brazo o por cualquier

ra otro medio. Ahí tienes explicada, Carmencita, la diferencia que hay entre una máquina locomóvil y una locomotora.

Pues, como te iba diciendo, el ejemplo del carro que te puse para explicarte el objeto del volante te explicaría a la vez por qué las locomotoras no tienen volante y por qué lo tienen las locomóviles. ¿Caes en la razón de esa diferencia?

Carmencita se quedó pensativa, sin contestar a la pregunta de su padre.

—Y tú, Luisito, ¿no caes tampoco?

Luisito permaneció también callado.

—Pues es muy sencilla—dijo don Juan, después de un rato de silencio—. La locomotora no lleva volante porque la máquina toda, al trasladarse por su propio esfuerzo, es su propio volante. No así la locomóvil, que teniendo que trabajar en otra cosa que en trasladarse, está reducida, mientras trabaja, a la condición de máquina fija.

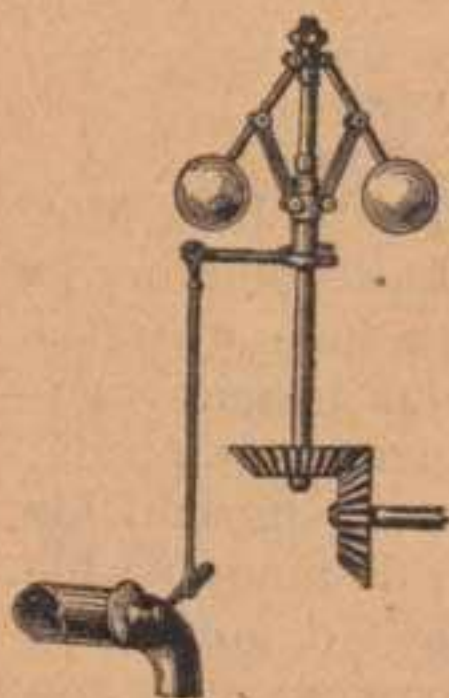
Por esa misma razón no necesitan volante las máquinas propulsoras de los barcos, pues ningún mejor volante que la misma máquina con el barco y con todo lo que lleva dentro.

Ahora pasaré a explicaros la misión y objeto de otro órgano importantísimo, que no os he nombrado hasta ahora sino de pasada, y que es el llamado *regulador*.

Como su mismo nombre lo dice, tiene por misión ese órgano regular la velocidad del movimiento de la máquina, manteniendo esa velocidad entre ciertos límites.

Hay muy diversas clases de reguladores, pero el de uso más general, el más sencillo y a la vez el más ingenioso, es el llamado *péndulo cónico*, y también *regulador de fuerza centrífuga*, y todavía más vulgarmente, *regulador de bolas*.

Consiste en cuatro varillas articuladas formando un rombo, montadas en un eje vertical que coincide con una de las diagonales de ese rombo.



Péndulo cónico.

Las dos varillas de arriba se prolongan más abajo de los ángulos o vértices que forman con las otras dos, y llevan en sus extremos sendas bolas. El eje en que el rombo va montado participa, mediante órganos mecánicos a propósito, del movimiento de rotación del eje motor de la máquina, arrastrando en su giro al rombo entero, y, por consiguiente, a las dos varillas en que van montadas las bolas.

Cuanto más rápido es el movimiento de rotación del eje de la máquina, y, por tanto, del rombo y de las varillas que llevan las bolas, más se abren y separan unas de otras esas varillas, y más se acercan uno a otro los dos vértices del rombo que ocupan los extremos de su diagonal vertical. Al contrario, cuando decrece la velocidad del eje motor de la máquina y del rombo, va

éste cerrándose, alejándose uno de otro sus vértices superior e inferior.

Esa variación de la longitud de la diagonal vertical del rombo se transmite, por medio de órganos mecánicos convenientemente dispuestos, a la válvula que da paso al vapor desde la caldera a la máquina, de tal modo que cuando la velocidad mengua, se va abriendo progresivamente esa válvula, dando paso a mayor cantidad de vapor, y cuando crece se va cerrando, disminuyendo la cantidad de vapor que entra en el cilindro.

Pero de objetos tan materiales como este de que estamos tratando es imposible dar idea completa sólo por medio de palabras. Os la formaréis mejor viendo una figura que represente uno de esos reguladores, o poniendo atención en el objeto mismo, que habréis visto mil veces, porque es de los que más saltan a la vista en las máquinas, tanto de vapor como de cualquiera otra clase, pues en todas se le usa.

Aquí tenéis uno dibujado—agregó don Juan, mostrando el grabado de un libro que sacó de uno de los estantes de su despacho—. ¿No os hacéis mejor cargo de la manera de funcionar el regulador mirando esta figura que con todas mis explicaciones?

—¿Que es una *válvula*, papá?—preguntó Carmencita.

—Es una palabra latina que significa *puerta*—contestó don Juan—, y se aplica a cualquiera órgano mecánico o natural que tenga por objeto

abrir o cerrar una cavidad o un conducto. Si en lugar de decir válvula hubiera dicho puerta, me habrías entendido mejor. Hay muchísimas palabras que se usan en las ciencias, y también en el lenguaje general, que ninguna falta hacen; en cambio, hay cosas que carecen de palabras que las expresen.

—¿Y por qué se usan esas palabras que no hacen falta?—preguntó Carmencita.

—Te contestaré lo que contestó el ordenanza de un coronel que seguía siempre a su amo arma-



Válvulas.

Así se llaman ciertas piezas móviles, destinadas en las máquinas de vapor, y en otras, a cerrar y abrir conductos o comunicaciones entre unos espacios y otros. Hay válvulas de muy diversos sistemas y figuras.

do de un lanzón enorme y pesadísimo, a uno que le preguntó para qué le hacía llevar su jefe aquel engorroso instrumento.

—¿Qué le contestó, papá?

—«Pues como no sea para fastidiarme, no lo sé.» El principal objeto de todos esos términos no parece ser otro que complicar y dificultar el estudio y aprendizaje de las cosas.

—Y también darse tono, haciendo creer a los

papanatas que se sabe muchísimo—dijo Carmencita, mirando al mismo tiempo a su hermano—. El otro día me decía Luisito que es más elegante

y científico decir «someter a la acción del calor» que «calentar»; ¿que me dice usted de eso, papá?

—Que para el que tenga el hablar por oficio, la primera manera es la mejor, pues emplea seis palabras para decirlo, y para el que tenga otras cosas que hacer y no pueda perder el tiempo, es mejor la última, pues sólo necesita de una.

—No nos ha explicado usted todavía la diferencia que hay entre máquinas motoras y operadoras, ni lo que son máquinas de balancín, ni lo que es una correa sin fin—dijo Carmencita.

—Esos puntos que tocas, Carmencita, deben ser tratados con entera independencia de los que nos han servido de tema hasta ahora; porque pertenecen a otro orden de ideas y de cosas que las que se refieren a la fuerza expansiva de los gases y vapores, que es la que se utiliza en las máquinas de vapor y también en las de aire comprimido, aire caliente y gases explosivos, tan en uso hoy. Cualquiera día de estos contestaré a esas preguntas que me has hecho; te lo prometo.

—Y esas otras máquinas que acaba usted de nombrar, ¿son iguales que las de vapor?—preguntó Carmencita.

—En el principio general de su funcionamiento sí; pues todas ellas tienen por agente motor la fuerza expansiva de los gases o vapores; pero en la disposición de sus órganos son completamente distintas unas de otras, por más que todas se compongan de cilindros, émbolos y válvulas: cilindros en que ejercen su fuerza expansiva el

gas, émbolos movidos por esa misma fuerza expansiva y válvulas que dan entrada y salida al gas que ha de trabajar o al que ha trabajado.

Ya te he dicho que hasta en las máquinas movidas por vapor de agua hay variedad grandísima. Unas tienen el cilindro derecho, otras tendido, unas más o menos inclinado; unas constan de un solo cilindro, otras de dos; en unas trabaja el vapor de la caldera durante toda la carrera del émbolo dentro del cilindro, en otras se corta la entrada del vapor antes de que el émbolo haya terminado su curso, y sigue trabajando el vapor que entró en el cilindro en la primera parte del viaje del émbolo; unas tienen el cilindro fijo, otras montado en muñones, sobre los cuales oscila a manera de péndulo..., en fin, no acabaría nunca si fuera siquiera a enumerarte el sinnúmero de modelos y sistemas que se han ideado y que están en uso.

V

Unos cuantos días después de la conversación que en el capítulo anterior se ha referido, se hallaba don Juan en su despacho, entregado a la lectura, cuando Carmencita, levantando tímidamente un borde de tapiz que cubría el vano de la puerta, asomó su cabecita dentro de la habitación, y viendo que su padre no había advertido su presencia, tosió ligeramente para llamarle la atención de una manera discreta.

—¿Qué te trae por aquí, Carmencita?—le pre-

guntó su padre— ¿Vienes acaso a cobrar la deuda que contraje contigo días pasados cuando te prometí contestar a varias preguntas que me hiciste? Si eso es a lo que vienes, siéntate y espera un momento... Pero mejor será que llames a tu hermano para que asista a nuestra conferencia. Él ya sabe bien o mal lo que voy a decirte, o tiene más o menos noticias de ello, pues he hablado con él algunas veces sobre los mismos asuntos; pero no le estará demás volver a oírlo y refrescar las ideas, por si las tiene adormecidas u olvidadas.

Salió Carmencita, y volvió a presentarse a poco en compañía de su hermano.

—¿Sabéis lo que es fuerza y lo que es movimiento? ¿Sois capaces de definirlo?—comenzó preguntando don Juan, sin andarse en preámbulos.

—Yo lo sé—contestó Luisito—, y puedo definir lo uno y lo otro.

—¿Que puedes definir lo que es fuerza y lo que es movimiento? Pues sabes muchísimo más que yo, Luisito; pues te aseguro que me considero incapaz de hacer otro tanto. Sábetete, hijo mío, que todavía no ha habido quien sepa definir la fuerza ni el movimiento; es decir, quien lo haga de una manera satisfactoria; pues definiciones hay, pero todas malas. Eso mismo se puede decir de muchísimas cosas: de la línea recta, del tiempo, del espacio y de otras cuyo concepto poseemos innato, pero que nadie ha definido ni definirá nunca.

La idea de la fuerza la llevamos todos en la cabeza, y lo mismo te digo de la idea del movimiento; hasta tenemos la facultad de aislar esas ideas y concebirlas desligadas de todo lo material, como nos sucede con las del espacio y del tiempo, pero no llega nuestro poder hasta dar definiciones tan perfectas de tales cosas que no se presten a infinitas objeciones.

Admitiremos, pues, como sabido, lo que es fuerza y lo que es movimiento, que son las materias o asuntos que constituyen el tema de la ciencia llamada *Mecánica*. Aquella parte de la mecánica que estudia las fuerzas se llama *Dinámica*, y la que se limita a estudiar los movimientos, sin tener en cuenta para nada las fuerzas, se llama *Cinemática*.

—Pero, ¿puede haber movimiento sin fuerza que lo produzca?—preguntó Luisito:

—Todo movimiento—le contestó su padre—ha necesitado de una fuerza que lo origine, porque la materia propende por sí sola al reposo; pero una vez que un cuerpo esté en movimiento, seguirá moviéndose indefinidamente en línea recta por los siglos de los siglos, aunque no esté sometido a fuerza alguna; y ese cuerpo se moverá con movimiento uniforme, esto es, recorriendo espacios iguales en tiempos iguales.

—¿Y es posible, papá, que un cuerpo que no sea impulsado por ninguna fuerza ande y ande sin pararse nunca?

—Para que se pare, es preciso que venga una

fuerza a pararlo; y para que acelere o retarde la velocidad de su movimiento, es también preciso que una fuerza le obligue a ello, acelerando o retardando su avance, y para que deje de andar en línea recta, es también preciso que una fuerza lo haga desviarse de la dirección rectilínea que lleva, porque ningún efecto sucede sin una causa que lo motive.

—Pues por eso mismo—objetó Luisito—no comprendo cómo puede una cosa moverse constantemente sin pararse nunca y marchando siempre uniformemente y en línea recta, sin una causa que la obligue a marchar de esa manera.

Yo veo, además, que no suceden así las cosas, pues si tiro una piedra, no va ella en línea recta, sino describiendo una curva por el aire, y no anda indefinidamente, sino que se para cuando llega al suelo o tropieza con algo; ni tampoco lleva siempre la misma velocidad; pues va con mucha mayor violencia cuando acaba de salir de mi mano que cuando está terminando su carrera.

—Es que esa piedra que tiras con la mano, está sometida a varias fuerzas que no tienes en cuenta, Luisito—le contestó su padre—. Precisamente la única que tú supones que actúa sobre ella es la que no hay, que es el impulso que le imprimiste al lanzarla, pues ese impulso fue momentáneo y cesó desde el momento que la soltaste. En cambio, prescindes de dos fuerzas que están constantemente ejerciendo sus efectos sobre

la piedra: la gravedad, o sea el peso de la piedra, que la llama continuamente hacia el suelo, y la resistencia del aire, que se opone también constantemente a su marcha.

Si no hubiera gravedad, la piedra no iría cayendo poco a poco a medida que avanzaba por su camino, sino que seguiría marchando en la dirección rectilínea del impulso que tú le diste al arrojarla; y si el aire no le opusiese resistencia, la velocidad de su movimiento no se retardaría, sino que sería siempre la misma.

La misma razón que impide que un cuerpo en reposo salga por sí solo de su estado de quietud, impide, si está en movimiento, que cambie por sí solo la velocidad o la dirección de su marcha.

—Pero, ¿no me dijo usted un día, hablándome de los planetas, y entre ellos de nuestra Tierra, que dan todos vueltas alrededor del Sol? ¿Por qué no marchan derechos, en línea recta, en vez de describir círculos?

—Precisamente por la misma razón que no sigue una línea recta la piedra que lanzas con la mano; por estar constantemente sometidos los planetas a la fuerza atractiva del Sol, como la piedra lo está a la fuerza atractiva de la Tierra. Los planetas marcharían en línea recta indefinidamente, con velocidad uniforme, en virtud del impulso que recibieron en el origen de los tiempos, y que tuvo que cesar en cuanto acabó de ejercerse; pero atraídos constantemente por el Sol, o sea, sometidos a una fuerza de intensidad cons-

tante, que ejerce su acción desde el lugar del espacio en que el Sol se encuentra, se ven obligados a describir, no precisamente círculos, sino elipses, uno de cuyos focos coincide precisamente con el Sol.

La fuerza atractiva del Sol no detiene el movimiento rectilíneo del planeta, pues no es contraria a la dirección de ese movimiento, pero lo modifica, haciendo que sea elíptico en vez de rectilíneo. Pero estoy hablando en el supuesto de que sepas lo que es una elipse: ¿Lo sabes, Luisito? Y tú, Carmencita, ¿sabes lo que es una elipse?

—Yo conozco muy bien esa figura y sé dibujarla: es como un círculo alargado—dijo Luisito.

—Yo por mi parte—dijo al mismo tiempo Carmencita—no sé absolutamente lo que es una elipse.

—Aquí viene bien la explicación que nos hiciste días pasados, Luisito, del cuerpo geométrico llamado *cono*; porque la elipse, el círculo mismo, que no es más que un caso particular de la elipse, la curva llamada *hipérbola*, y otra curva llamada *parábola*, son todas ellas lo que se llama *secciones cónicas*, esto es, curvas producidas por la intersección de un cono por un plano—dijo don Juan.

—Yo quisiera—dijo Carmencita—que me explicara usted bien qué significa eso de intersección de un cono por un plano. Emplea usted unos términos, papá, que están seguramente al alcance de quienes hayan hecho ciertos estudios, pero

que no entiendo yo más que si los dijera usted en griego.

—Tienes razón, Carmencita; tu hermano me entiende muy bien porque ha estudiado algo de Geometría; pero tú sólo tienes ligerísimas nociones de esa ciencia y no es extraño que te quedes en ayunas de lo que digo.

Sección es lo mismo que *corte*. Figúrate que asieras un cuerpo cualquiera con una sierra plana y muy ancha, conservando la mano bien firme en la dirección que has comenzado a aserrar, sin torcerla a un lado ni a otro, de modo que cuando hayas terminado la operación, el plano de la sierra pueda aplicarse exactamente sobre el corte hecho, como un pliego de papel puede aplicarse sobre otro. Ese corte que has practicado en el cuerpo sobre que estás operando, será la sección de él por un plano, y el corte o sección que has hecho será plano, por ser plana la sierra.

Hazte ahora la cuenta de que, en vez de ser plana la sierra, tenga una figura curva o abarquillada, como esas tijeras que se usan para cortarse las uñas. No puede haber sierras de esa forma porque no podrían manejarse; pero nada te impide imaginarte que las haya y que haya también habilidad para servirse de ellas, haciendo que la mano, en vez de hacer un movimiento alternativo de vaivén, como el que ordinariamente se hace para aserrar, siga la misma dirección curvilínea que la sierra le marca.

El corte o sección que una tal sierra haga en

el cuerpo sobre que opera, no será plano, sino curvo, y de igual curvatura que la de la sierra. La sierra podrá aplicarse sobre ese corte y adaptarse a él perfectamente, como un dedal se adapta al dedo, o el borde interior de un sombrero a la cabeza.

Ese corte, así hecho en el cuerpo de que se trata, será su sección por la superficie curva marcada por la sierra. Si la superficie de la sierra es cilíndrica, el corte que haga será la intersección del dicho cuerpo con un cilindro. ¿Me entiendes, Carmencita?

—Le entiendo a usted perfectamente, papá. Si corto un pan con un cuchillo, y llevo el cuchillo bien derecho, cortaré el pan por un plano, y si hago un agujero en un pedazo de cuero grueso, con un sacabocados, el borde de dentro del agujero que haga será la sección del cuero por un cilindro, porque la cuchilla del sacabocados es un cilindro que acaba por abajo en un borde de filo redondo.

—¡Cuando te digo que has nacido para catedrática!—exclamó don Juan.

—Y si hubiera nacido para catedrática, ¿de qué me serviría, papá, si no hay catedráticas?—le replicó Carmencita.

—Pues antiguamente las había—dijo Luisito—. ¿No me hablaba usted, hace días, de aquella señora Hypatia, a quien llamaban «la Matemática» y «la Filósofa», famosa profesora de Ale-

jandria, a quien mataron en un motín, hace unos quince o dieciséis siglos?

—Y las hubo siempre y las siguió habiendo hasta muy cerca de nuestro tiempo—dijo don Juan—; y si no, ahí tenemos el caso, entre otros que pudieran citarse, de la hija de Antonio de Lebrija, que sustituía a su padre en su cátedra de la Universidad de Alcalá, cuando tenía él que ausentarse.

Pero desde hace algún tiempo se viene trabajando con tanto ahinco por persuadir a las mujeres de que no deben pensar en nada serio ni de sustancia, sino dedicarse a acicalarse y componerse, si tienen medios para pasarse la vida en la holganza, y, si son pobres, a hacer trabajos de manos y de fuerzas, so pretexto—y esto es lo más gracioso—de que son débiles, que se ha llegado a convencerlas de que han nacido para eso.

Pero confío, Carmencita, en que no caigas en esa burda asechanza, justificando así que diga mañana tu marido, si llegas a tenerlo, que se aburre a tu lado porque no sabes hablar sino de futilidades, y en que sigas cultivando tu espíritu como hasta aquí, por todos los caminos que puedas, y hasta que estudies y aprendas el latín, como lo hizo Doña Isabel, la Católica, y como lo hicieron, a imitación suya, tantas grandes señoras de su tiempo. De lo que has de huir, como de la peste, es de la pedantería, que está tan mal en las mujeres como en los hombres.

Pero sigamos adelante con la explicación que os estaba haciendo.

Os decía que el círculo, la elipse, la hipérbola y la parábola son secciones cónicas; esto es, curvas que resultan de cortar el cono por planos.

Cuando un plano corta al cono en las dos partes de que consta ese volumen geométrico; cuando se prolongan sus aristas más allá de la cúspide, se forma la curva llamada hipérbola. El círculo resulta de cortar el cono por un plano perpendicular a su eje; la elipse, de cortarlo por un plano oblicuo respecto de su eje, y la parábola de cortarlo por un plano paralelo a una de sus generatrices.

—¿Qué es generatriz de un cono, papá?—preguntó Carmencita.

—Ya te dije, Luisito, el otro día, que un cono viene a ser como un cucurucho. Esa definición no será muy geométrica, pero creo que te dará mejor idea de lo que es un cono que otras definiciones más ajustadas a los cánones. Imagínate un cucurucho muy bien hecho, con los bordes de su boca o parte ancha muy bien igualados, de modo que, puesto sobre una mesa, quede bien derecho y aplomado, con la punta para arriba, sobre el centro mismo del círculo en que el cono descansa, y que se llama su *base*. ¿Te imaginas claramente ese cono que te represento?

—Clarísimamente, papá—contestó Carmencita—. Me parece que lo estoy viendo.

—¡Bueno! Ese cono que te figuras como un

cucurucho de papel, hazte la cuenta que se vuelve de hierro, o de piedra, o de otra materia dura y bien tersa y pulimentada, de modo que si derramas un líquido sobre su superficie, resbala sobre ella hacia abajo hasta llegar a la mesa o plano en que suponemos el cono asentado.

En tal disposición las cosas, imagínate que echas una gota de agua en la misma punta o cúspide del cono: ¿qué hará esa gota de agua?

—Seguramente bajará, resbalando derechita, por la superficie del cono, y, si tiene fuerza, llegará hasta la base, y si no, se quedará en un punto o en otro del camino—contestó Carmencita.

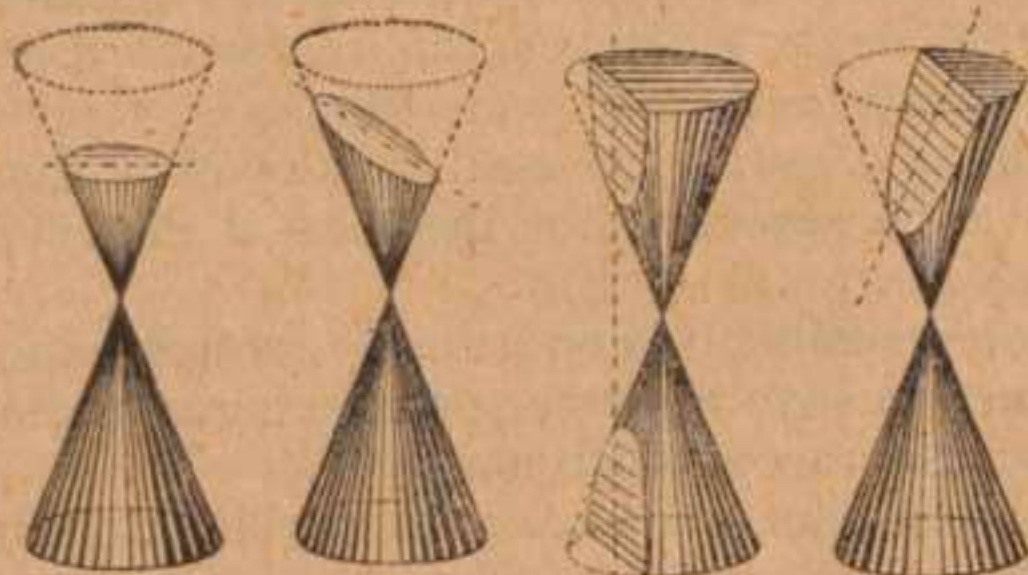
—Doy por supuesto que tenga fuerza bastante para correr desde la cúspide hasta la base del cono; ¿no te salta a la vista que esa gota buscará el camino más corto para hacer su viaje de descenso, siguiendo una línea recta, sin desviarse lo más mínimo a un lado ni a otro? Pues cualquiera de los caminos, todo en redondo la superficie del cono, que esa gota tome para bajar lo más rápidamente posible desde la cúspide hasta la base, es una generatriz de ese cono. ¿Comprendes ahora, Carmencita, lo que son las generatrices de un cono?

—Si fuera posible arrollar un abanico, sin romperlo, de modo que las dos varillas maestras que lleva en los bordes se aplicaran una contra otra, me parece que ese abanico así arrollado formaría poco más o menos un cono, y que las varillas

todas serían otras tantas de sus generatrices—dijo Carmencita.

—El ejemplo que has puesto—dijo Luisito—no puede estar mejor traído; porque un abanico es, precisamente, un cono abierto por una de sus generatrices, y desarrollado sobre un plano.

—Ya que te veo, Carmencita, perfectamente enterada de lo que es el volumen geométrico llamado cono, te repetiré lo que antes te dije: que el cono, cortado por un plano perpendicular a su eje, da por resultado un círculo; por un plano oblicuo respecto de su eje, y que corte a todas las generatrices, una elipse; por un plano paralelo a una generatriz, una parábola, y por un plano que corte al cono en las dos partes que lo constituyen cuando se prolongan sus aristas más allá de la cúspide, una hipérbola. Por eso se da a esas curvas el nombre de secciones cónicas.



Secciones cónicas.

Círculo.

Elipse.

Hipérbola.

Parábola.

Ahora os diré que hay un parentesco extraordinariamente notable y misterioso entre unas y otras de esas curvas llamadas secciones cónicas; pues tienen una multitud de propiedades rarísimas, comunes a todas ellas, las cuales propiedades descubrió el célebre filósofo griego Platón; y hay también un parentesco no menos misterioso entre esas curvas y la curva que en su movimiento describe un cuerpo animado de una velocidad inicial y sometido a la acción de una fuerza constante que pase por un punto fijo o que actúe en una dirección siempre paralela a sí misma.

No tenéis una idea de la importancia, verdaderamente asombrosa, de la materia de que estoy tratando. A ella se debe el descubrimiento que de las leyes que rigen los movimientos de los planetas hizo el astrónomo y geómetra alemán Képler, hace unos trescientos años, y el aun más notable de la existencia de la fuerza llamada *gravitación universal*, y de las leyes a que está sujeta, que, sobre la base de las leyes de Képler, hizo unos sesenta años después el matemático inglés Newton.

No es posible descender con vosotros, niños, a pormenores sobre esta profundísima materia; pero procuraré asomaros a ella.

Pero ni aun eso me es posible sin explicaros, muy por encima, las figuras de la elipse y de la parábola. ¿Dijiste, Luisito, que sabías cómo se traza una elipse?

—Sé una de las varias maneras que hay de trazarla—replicó el niño.

—Pues explícala—le dijo su padre.

—Se comienza por tirar una raya de la longitud del eje mayor de la elipse—dijo Luisito.

—Trázala en este papel—le dijo don Juan, poniéndole delante una cuartilla.

Luisito trazó la recta que había de hacer de eje mayor de la elipse.

—¿Qué se hace ahora?—le preguntó don Juan.

—Ahora marco sobre esta recta los focos de la elipse.

—Ten presente—le dijo su padre—que Carmencita no saben lo que son focos.

—Focos de una elipse—dijo Luisito—son dos puntos situados a uno y otro lado del punto medio de esta raya que acabo de trazar, que es el eje mayor de la elipse, y están, en cada caso, igualmente apartados de ese punto medio.

—¿Qué quieres decir con eso de en cada caso?—preguntó Carmencita—¿Es que la distancia que hay entre esos focos que dices y el punto medio de la elipse no es siempre la misma?

—¡Qué ha de ser la misma!—exclamó Luisito—En una misma elipse, los focos distan igualmente uno que otro del punto medio; pero esa distancia es distinta para cada elipse. Desde el punto medio del eje a los focos de la elipse puede haber cualquiera distancia, y aun no haber ninguna. A cada distancia corresponde una elipse distinta, más o menos alargada.

Si los dos focos van acercándose poco a poco el uno al otro, y, por lo tanto, al punto medio del eje, la elipse irá siendo cada vez más semejante a un círculo; y si llegan a confundirse ambos focos en un solo punto, que necesariamente tendrá que ser el punto medio del eje, la elipse se convertirá en un círculo, que tendrá su centro en ese punto medio del eje mayor en que han venido a coincidir los focos.

—Deja eso y dinos qué propiedad importante tienen los focos de la elipse—dijo don Juan.

—Iba a decirlo, papá; porque en esa propiedad se funda el procedimiento para dibujar la elipse que voy a poner en práctica. Tienen los focos la propiedad de que las rectas trazadas desde ellos a cualquier punto de la elipse suman una longitud que es siempre la misma, y esa longitud es la del eje mayor de la elipse.

Aquí tengo trazado el eje mayor—prosiguió diciendo Luisito—; ahora tomo con un compás la distancia que hay desde el punto medio del eje mayor a los focos, y apoyando en ese punto medio de las puntas del compás, marco la situación de los dichos focos sobre el eje mayor.

Ya los tengo señalados—dijo; porque había acompañando con la acción sus palabras.

—¿Qué haces ahora?—le preguntó don Juan.

—Ahora necesito dos alfileres para hincarlos en estos puntos que he marcado como focos de la elipse: ¿no tienes ahí dos alfileres, Carmencita?

—Ten mejor dos chinches—le dijo su padre, sacándolas de una de las gavetas del escritorio.

—Esperaré a tenerlo todo preparado para clavar las chinches en el papel—dijo Luisito—. Ahora necesito un hilo.

—Ahí tienes uno—le dijo Carmencita—; ¿no necesitas más cosas?; ahora pide que venga alguien a dibujar la elipse: es lo único que te falta.

—¡Paciencia, hermana, que todo se andará!— exclamó Luisito, haciendo una gaza en uno de los extremos del hilo, y haciendo, después, otra gaza semejante en el otro extremo, después de tomar cierta medida con el compás—Aquí tienes este hilo, que, perfectamente estirado, con sus gazas y todo, es de igual largo que el eje mayor. ¿Lo ves? —dijo, estirando el hilo y aplicándolo sobre la raya que desde un principio había trazado en el papel.

—Lo veo—dijo Carmencita.

—Pues pon atención a lo que voy a hacer ahora—dijo Luisito, hincando las chinches en los puntos que había señalado como focos, pero hincándolas de modo que quedaran abrazadas por las gazas que llevaba el hilo en sus estremidades. Quedó así el hilo muy flojo, porque la distancia entre los focos era bastante menor que la longitud del eje mayor.

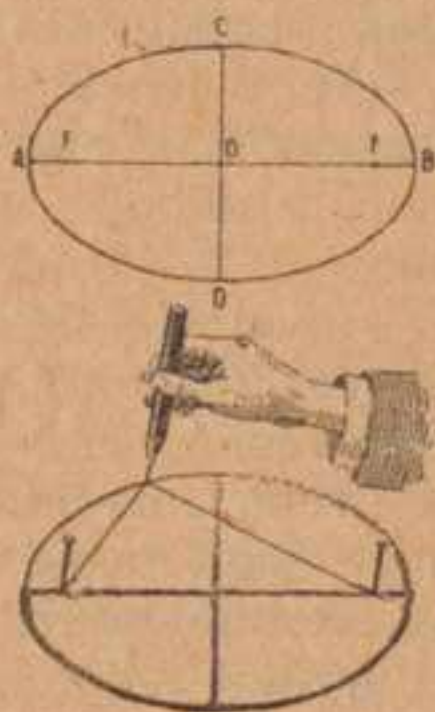
—¡Ahora, mira!—dijo triunfalmente, estirando y dando forma angular al hilo con la punta de

un lápiz, y paseando éste por el papel, con el hilo siempre tendido—Cuantos puntos puedan marcarse con este lápiz, teniéndolo apoyado en el hilo, completamente estirado, pertenecen a la elipse. ¡Observa qué curva tan elegante! —exclamó después que la hubo trazado — Curvas como éstas, teniendo por uno de sus focos el Sol, son los caminos que andan anualmente los planetas.

—Y lo más maravilloso—agregó don Juan— es que precisa y necesariamente tiene que ser así. Newton lo ha demostrado con pruebas matemáticas absolutamente concluyentes. Ha hecho

ver, por medio del cálculo, que todo cuerpo, animado de una velocidad inicial, y atraído hacia un punto por una fuerza de intensidad constante, se ve obligado a describir una elipse, de la cual ese punto, en que la dicha fuerza reside, ocupa uno de los focos.

Képler había observado que los planetas recorren caminos elípticos, uno de cuyos focos lo ocupa el Sol; Newton, dando por supuesto la verdad de ese hecho, y buscando su razón, vino a deducir que era resultado de la acción de una



Modo de trazar la elipses.

fuerza de intensidad constante, cuya dirección pasaba por el Sol. De ahí dedujo la fuerza de atracción del Sol, y pudo apreciar su intensidad y las leyes que la rigen, las cuales, generalizadas, condujeron al descubrimiento de la gravitación universal.

—Dijo usted antes una cosa que quisiera que me explicara—dijo Carmencita.

—¿A qué te refieres, Carmencita?

—A eso de velocidad inicial: ¿qué significa velocidad inicial?

—Velocidad inicial quiere decir velocidad uniforme de que está animado un cuerpo, no por virtud de una fuerza que esté actuando sobre él, pues una tal fuerza no produciría un movimiento uniforme, sino progresivamente acelerado (que así se demuestra en Mecánica), sino por un impulso que ya traiga de abinicio.

Ya le dije a tu hermano que un cuerpo que esté en movimiento por efecto de un impulso que haya recibido, pero que quede después en libertad completa, marcha indefinidamente en línea recta en la dirección que el impulso le imprimió y con velocidad uniforme, o sea, avanzando cuatro metros cada segundo, si fué esa distancia la que anduvo en el primer segundo de su marcha; cinco metros cada segundo, si fueron cinco los que comenzó recorriendo; seis, si seis, etc. Esa velocidad uniforme es la que se llama *velocidad inicial*.

Si un cuerpo, moviéndose de esa manera, en-

tra en el campo de atracción de otro cuerpo, pasará, de libre que era, a hallarse bajo la acción de una fuerza constante, que será la atracción que ese otro cuerpo ejerza sobre él, y desde ese momento se desviará de la dirección rectilínea que traía y describirá una elipse, uno de cuyos focos será el cuerpo que ejerce la atracción. Tal es el caso de los planetas.

Pero si en lugar de proceder de un punto la fuerza atractiva, tiene esa fuerza una dirección siempre paralela a sí misma, el cuerpo sometido a ella no describirá una elipse, sino una parábola, que, como antes os dije, es otra de las secciones cónicas.

Tal es el caso de una piedra lanzada con la mano o de una bala disparada por un cañón. Desde que la piedra sale de la mano o la bala del cañón, quedan en libertad, y entregadas a sí mismas, por decirlo así, y se moverían constantemente en línea recta, conservando la velocidad que les imprimió el impulso que recibieron, si no estuvieran sometidas durante toda su marcha a una fuerza de intensidad constante, que es su propio peso, fuerza cuya dirección es siempre vertical, y, por consiguiente, paralela a sí misma.

He ahí por qué una piedra lanzada con la mano o una bala disparada por un cañón describen parábolas y no elipses.

— Pero ¿no nos dijo usted antes—observó Luisito—que una piedra arrojada a mano sufre,

además de la acción de su peso, la de la resistencia que opone el aire a su marcha?

—Así es, efectivamente—contestó don Juan—, y por tal motivo no son precisamente parábolas los caminos que recorren los proyectiles en su marcha por el aire, caminos que se llaman sus *trayectorias*, sino curvas especiales, de formas distintas en cada caso, y tanto más diferentes de la parábola cuanto mayores son las velocidades de que están animados; porque la resistencia que el aire opone a su movimiento es una fuerza variable que depende de la velocidad que llevan. Sólo en el vacío es exactamente parabólica la trayectoria de un proyectil, porque no actúa sobre él otra fuerza que la de su peso, que es constante.

—¿Y en qué se diferencia la parábola de la elipse?—preguntó Carmencita.

—Difieren, a primera vista—le contestó su padre—, en que la parábola es una curva abierta y la elipse una curva cerrada. Pero, tú, Luisito, debes de saber trazar una parábola: ¿no?

—Sé una manera de dibujarla, punto por punto, por medio de tanteos—contestó Luisito—. Sé que se la dibuja de otro modo, valiéndose de una regla, de una escuadra y de un hilo, pero me resulta más engorroso.

—Dibújala como quieras—le dijo su padre—. Ahí tienes papel y lápiz. Así aprenderá tu hermana.

—Por lo pronto—dijo Luisito—, trazo una raya de longitud indefinida, que es el eje de la

parábola; pues esta curva, aunque no es cerrada, como la elipse, tiene todos sus puntos simétricamente dispuestos a uno y otro lado de cierta línea recta, llamada su *eje*, y que, por lo tanto, la parte por la mitad

Tienen también todos los puntos de la parábola propiedad de distar lo mismo de cierto punto situado sobre ese eje, y que se llama su *foco*, que de una línea recta, llamada su *directriz*, la cual es perpendicular al eje.

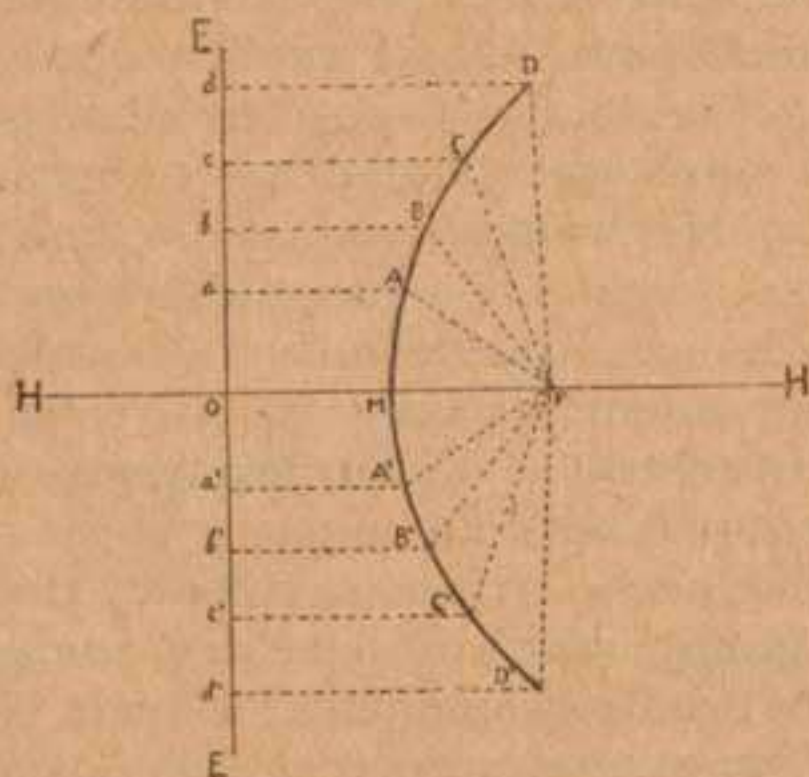
Sobre cualquier punto de la recta de longitud indefinida que he comenzado por trazar, y que destino a eje de la parábola, levanto, pues, la directriz, prolongando ésta indefinidamente a uno y otro lado del eje; y, después, tomando con el compás la distancia que ha de mediar entre el foco y la directriz, distancia que debo conocer, y que se llama *parámetro* de la parábola, marco sobre el eje el punto que ha de ocupar el foco.

Debiendo, como ya he dicho, ser igual la distancia desde cualquier punto de la parábola al foco que a la directriz, claro es que el punto medio del parámetro tiene que pertenecer a la parábola. Ese punto es precisamente aquel en que la parábola se cruza con su eje. Voy tomando después longitudes arbitrarias con el compás, y fijando una de sus puntas en el foco, busco a ojo, con la otra, puntos que disten igualmente de la directriz, verificando en cada caso la exactitud de los que voy señalando, que es operación sencillísima.

Cuando tengo marcados muchos puntos, los unos por una línea, que será tanto más aproximada a la verdadera que me propongo trazar, cuanto más cercanos estén unos de otros los puntos que haya marcado.

—No es mal procedimiento — dijo don Juan—. Por lo menos, demuestra que conoces bien la naturaleza de la parábola.

—Como que no es más que una elipse, de la cual uno de los focos permanece fijo, mientras que el otro se aleja hasta una distancia infinita —contestó Luisito—. Si los dos focos de una elipse se van acercando el uno al otro, hasta confundirse en un solo punto, en el centro de la elipse, se convierte ésta en un círculo, y si se va alejando uno de ellos hasta el infini-



Parábola.

H H, eje.

F, foco.

E E, directriz.

FO, parámetro.

Los puntos de la parábola distan lo mismo de la directriz que del foco; así $MO = MF$; $Aa = AF$; $Bb = BF$; $Cc = CF$; $A'a' = AF$; $B'b' = BF$; $C'c' = CF$.

to, se convierte en una parábola — siguió diciendo.

—Ya os dije antes—advirtió don Juan—que el parentesco entre todas las secciones cónicas es estrechísimo. Así se explica que haya planetas cuyas órbitas sean casi circulares, como la Tierra; otros que tengan las suyas muy elípticas, como Mercurio, y, por último, que haya cuerpos, como muchos cometas, que tengan las suyas tan parabólicas, que después de aproximarse extraordinariamente al Sol, y de dar la vuelta alrededor de ese astro, se alejan después de él para no volver a parecer más nunca.

Ese hecho no destruye la ley de Képler, ni las de gravitación, sino que las confirma, y de manera prodigiosa; pues a primera vista parece increíble que un cuerpo atraído por el Sol, y caminando hacia él con velocidad verdaderamente vertiginosa, dé la vuelta en torno suyo al llegar a sus inmediaciones, y se vaya después alejando de él en vez de precipitarse sobre su masa; y todavía parece más increíble que ese hecho suceda en virtud de esa misma fuerza de gravitación con que a primera vista parece estar en pugna.

—Bien mirado—dijo Luisito—, esas fuerzas de atracción ejercidas por unos cuerpos sobre otros, separados entre sí por grandes distancias, son inexplicables, papá. Nos dijo usted antes que no había manera de definir lo que es fuerza; pero que la idea de la fuerza la llevábamos dentro de nosotros.

A mí me parece que llevamos, efectivamente, dentro de nosotros la idea de la fuerza, pero de un modo muy confuso e imperfecto; porque si nos explicamos muy bien que una cosa pueda hacer fuerza sobre otra que esté agarrada a ella o en contacto con ella, no concebimos, o yo, por lo menos, no concibo, que pueda suceder lo mismo a través del espacio. ¿Se explica ese hecho de alguna manera, papá?

—De ninguna—le contestó don Juan—. Estás tocando una de las cosas más misteriosas de la Naturaleza: lo que es y en qué consiste la fuerza; asunto que pertenece más a la Filosofía que a la Mecánica o a la Física.

Estas ciencias conocen y estudian los efectos de las fuerzas, pero no saben nada sobre la naturaleza de ellas. Estamos continuamente sirviéndonos de las fuerzas, sin saber absolutamente lo que son. Sentimos dentro de nosotros la fuerza vital, que es, con la de gravedad o pesantez, la del viento y la elasticidad de ciertos cuerpos sólidos, como algunas maderas y metales, las únicas de que han dispuesto los hombres durante miles y miles de años. Cuando llegaron a conocer la elasticidad o fuerza expansiva de los gases y a servirse de ella, dieron los hombres un paso adelante de enorme transcendencia en la vía del progreso.

Adquirieron un poder de que no tenían idea, y que los dejó atónitos. Todavía no se ha borrado la impresión que produjo la invención

de la pólvora, a pesar de los seiscientos años, transcurridos desde entonces, que fue la primera fuerza elástica gaseosa de que se sirvieron los hombres, aunque, a la verdad, con fines bien poco loables.

—¿De modo que antes de inventarse la pólvora no se conocían más fuerzas que las que pueden hacerse con el cuerpo, la que hacen los objetos pesados al caer y esas pocas más que usted ha dicho?

—En cuanto a conocerse, se conocían algunas más, como, por ejemplo, la de atracción del hierro por el imán, que ha servido de base a la rama de la Física llamada *Magnetismo*, y la que hace que algunas materias, como el vidrio, cuando se las frota con otras, atraigan a ciertos cuerpecillos ligeros, hecho sobre el cual se ha fundado esa prodigiosa ciencia de la Electricidad, tan fecunda hoy en aplicaciones; pero como fuerzas de verdadera utilidad para las artes y las industrias, sólo se conocían las que antes os dije, y aun esas, consideradas desde el punto de vista de su aprovechamiento ventajoso, puede considerárselas reducidas a dos: la fuerza vital y la que hacen el agua al correr y el aire al moverse; porque, en los más de los casos, la fuerza de la pesantez y la de la elasticidad de algunas materias sólidas, como maderas y metales, no son sino restitución de la misma fuerza que se ha empleado antes en levantar los pesos y en tender los resortes que han de servir de motores

Pero hemos entrado en la parte de la Mecánica, cuyo tema es el empleo de las fuerzas y la resolución de los problemas del trabajo. Al tratar de estos particulares se me presentará oportunidad, Carmencita, de saldar la cuenta que tengo pendiente contigo, sobre lo que son máquinas motoras, máquinas operadoras y otras menudencias; pero ya no puede ser hoy. Lo dejaremos para otro día.

VI

—Os dije hace días—comenzó diciendo don Juan a sus hijos, unos cuantos después de la conversación precedente—que antiguamente sólo disponía el hombre, para efectuar trabajo, de la fuerza vital; esto es, de la suya propia y la de los animales que tiene a su servicio; la del agua al correr y la del viento; porque la de pesos que bajan y la de resortes que se distienden, era la misma suya propia, empleada antes de subir esos pesos y tender esos resortes.

Ahora os diré que todas aquellas otras fuerzas de que hoy dispone, como la de dilatación de los gases, la eléctrica, y aun la del agua y el viento, de que hace tiempo se viene aprovechando, no

son verdaderamente sino una sola: la que se conoce por el vulgarísimo nombre de *calor*.

Y os persuadiréis de ello siguiendo la pista a cualquiera de esas fuerzas, pues veréis que todas ellas van a parar al calor.

El agua que corre por los arroyos y ríos, y que puede aprovecharse para mover ruedas hidráulicas, es la misma que llueve en los lugares altos, que descende a los bajos por la acción de su peso, y que fue antes elevada a las nubes por efecto de la evaporación; es decir, por la acción del calor.

El viento que sopla, y que puede utilizarse para mover las aspas de un molino o impulsar a los barcos, no es sino efecto del Sol, que al calentar desigualmente las regiones de la Tierra establece desequilibrios atmosféricos, que obligan al aire a trasladarse de unos lugares a otros, el vapor que mueve una máquina ha sido engendrado por el calor del carbón al quemarse en las parrillas debajo de la caldera. La fuerza eléctrica que en forma de corrientes circula por los cables se produce por medio de máquinas de vapor, que ponen en movimiento los órganos llamados electroimanes, y no es, por consiguiente, sino la misma fuerza del calor que mueve esas máquinas. Las fuerzas originadas por reacciones químicas, son también efecto del calor que acompaña a tales reacciones y que las provoca. Puede afirmarse, pues, que el hombre dispone de su propia fuerza

y la de los animales que tiene a su servicio, y de la fuerza del calor, y de ninguna más.

—Nos está usted hablando, papá, de muchas cosas y empleando muchas palabras que no entiendo. Son tantas, que no acierto siquiera a ordenarlas en mi cabeza para preguntarle sobre ellas.

—Lo comprendo, Carmencita; pero has de resignarte a quedar en la ignorancia por ahora pues la explicación de muchas de las cosas que he dicho exige larguísimas explicaciones, que me desviarían del asunto de que tratamos. Habrás, pues, de tener paciencia hasta que se nos presente oportunidad de tratar de ellas

Pero prescinde de particularidades, que verdaderamente no necesitas saber, para entender lo que luego voy a explicarte; porque nada importan para los movimientos y sus transformaciones las fuerzas que lo produzcan. Lo mismo se produce un movimiento rotativo, que de vaivén, que de péndulo, por la dilatación del vapor, que por la tensión de un resorte, que por la fuerza de los brazos.

Aunque las fuerzas sean distintas, sus efectos, esto es, los movimientos que produce, son idénticos.

Lo primero que hay que hacer para utilizar una fuerza de que se disponga, es ponerla en condiciones de ser útil; esto es, de transmitirse a aquellos órganos que han de efectuar el trabajo. El conjunto de esos órganos constituye la máqui-

na operadora; el conjunto de aquellos otros que ponen a la fuerza en condiciones de transmitirse a la máquina operadora es la máquina motora.

Disponemos de un caballo, por ejemplo, para aplicarlo a cualquier trabajo: a mover una noria verbigracia; pero si no le ponemos un collarón y enganchamos al collarón unos tirantes que permitan utilizar la fuerza que tiene, de nada nos serviría esa fuerza. El conjunto del collarón y de los tirantes viene a ser para el caso la máquina motora.

El vapor de agua encerrado en una caldera es una fuerza; pero si no disponemos una combinación de órganos o instrumentos que reciban ese vapor y hagan que su fuerza expansiva se traduzca en un movimiento regular de rotación, oscilante o cualquiera otro que permita sacar partido de ella aplicándola a cualquier trabajo, de nada nos servirá tampoco esa fuerza expansiva. El conjunto de órganos, cuya misión consiste en hacer utilizable esa fuerza, constituye la máquina llamada de vapor, que es una máquina motora.

El hombre es a la vez máquina motora y máquina operadora, pues dispone de su propia fuerza y lleva consigo en los miembros de que le ha dotado la Naturaleza instrumentos eficacísimos para aplicarla y utilizarla, y capaces de efectuar los movimientos más difíciles y complicados. Pero, gracias a su ingenio, ha ido desprendiéndose paulatina y crecientemente del papel de má-

quina motora y reservándose casi exclusivamente el de máquina operadora, en cuanto ha podido organizar órganos mecánicos que le sustituyan también y por completo en esa misión.

Como máquina operadora, es el hombre un instrumento maravilloso, con el cual no hay artificio mecánico que pueda compararse. La máquina, capaz de sustituir en su trabajo a una hilandera, a un tejedor, a un ajustador, a un cajista, a un escribiente, tiene que ser un verdadero prodigio de mecánica.

Con razón se ha dicho que no hay máquina comparable con la mano del hombre; pero esa afirmación se refiere exclusivamente al hombre como mecanismo transmisor y utilizador de fuerza, y no como agente de ella; pues desde este último punto de vista vale muy poco el hombre, comparado con cualquier animal de trabajo, que es siempre más vigoroso que él, o con cualquier agente natural, como el agua, el vapor o el viento, que desarrollan energías enormes.

Como agente de fuerza, está demostrado por la experiencia que de ninguna manera vale tanto el hombre como trabajando por su propio peso.

No sé, Carmencita, si basta con lo que llevo dicho, para que comprendas la diferencia que hay entre una máquina motora y una máquina operadora, porque en muchísimos casos es muy vago e incierto el lindero que las separa.

—Si le digo a usted, papá, que una máquina de coser es una máquina operadora, y que la

persona que la hace trabajar moviendo el pedal hace ahí el papel de máquina motora, ¿creerá usted que me he hecho cargo de su explicación?

—Siempre que no olvides las funciones de máquina operadora, que, aun en ese caso, tiene también la persona que pone la máquina en movimiento, aplicando la tela, haciéndola correr en un sentido o en otro, según le convenga, deteniendo la máquina en determinados momentos, haciéndola andar en otros y practicando otras semejantes operaciones, tienes razón. Quién tendría en el caso que supones propio y exclusivo carácter de máquina motora sería un peso, un resorte o una pequeña dinamo que hiciera andar la máquina de coser, sustituyendo al pie que pone en movimiento el pedal.

—Aquilatando las cosas hasta ese punto —dijo Luisito—, no hay ninguna máquina motora ni operadora, por perfecta e ingeniosa que sea, que pueda trabajar sin el concurso del hombre, pues sería preciso que pensara y que ejecutara los movimientos que en cada instante le ordenara su pensamiento.

—Y así es, efectivamente—le contestó don Juan—. En lo de pensar, no hay máquina que sustituya al hombre. Lo que el hombre se ha propuesto por medio de las máquinas, es ir eliminando de su propio trabajo todo lo que haya en ese trabajo que no sea puramente intelectual, dejando todo el trabajo material, hasta donde sea posible, encomendado a organismos e instrumen-

tos mecánicos. En ese camino, los progresos realizados por el hombre en el curso del tiempo, y muy especialmente de ciento y tantos años a esta parte, han sido extraordinarios. Hoy se efectúan por procedimientos mecánicos infinidad de trabajos que hasta hace muy poco tiempo no se sabía hacer más que a mano.

Para explicarte, Carmencita, los órganos que constituyen una máquina motora y los que sirven para transmitir sus movimientos a las máquinas operadoras, necesito darte algunas ideas sobre aquella parte de la Mecánica llamada *Cinemática*, que estudia los movimientos, prescindiendo absolutamente de las fuerzas que los producen. La naturaleza de esas fuerzas es indiferente para la Cinemática, porque los efectos de ella son idénticos.

En la máquina de vapor, la fuerza expansiva de ese fluido se nos traduce en el movimiento de vaivén del émbolo; en las máquinas hidráulicas, en movimientos giratorios de ruedas; en los molinos de viento, también en movimientos giratorios de ruedas; las fuerzas de los motores animados podemos hacer que se traduzcan inmediatamente en movimientos rectilíneos o giratorios; pero, en definitiva, los movimientos y no la naturaleza de las fuerzas que los producen es lo que interesa a la Cinemática.

Considerando el movimiento desde el aspecto de su forma y de su dirección, puede ser *continuo* o *alternativo*; esto es, efectuarse en el mismo

sentido o en sentidos contrarios; y tiene precisamente que ser *rectilíneo*, *circular* o siguiendo un perfil *curvilíneo* determinado.

Todos esos movimientos pueden combinarse dos a dos de quince maneras diferentes, y teniendo en cuenta los casos en que cualquiera de esos movimientos se combi: a consigo mismo, de veintiuna.

El objeto de toda máquina, considerándola con relación a los movimientos, es transmitir uno o varios de esos veintiuno que he dicho, o transformarlos unos en otros. Voy a enumeraros ordenadamente todas esas transformaciones.

Imaginaos un movimiento *rectilíneo continuo*. Podemos transformarlo en otro movimiento *rectilíneo*, ora *continuo*, ora *alternativo*; en un movimiento *circular continuo* o *alternativo*, o en un movimiento *curvilíneo*, no circular, de cualquiera clase, también *rectilíneo* o *alternativo*. ¿Lleváis la cuenta de las transformaciones que llevo dichas del movimiento rectilíneo continuo?

--Creo que ha dicho usted seis—respondió Luisito.

—Precisamente—dijo su padre.

—Tomad ahora por punto de partida el movimiento *rectilíneo* o *alternativo*. Puede transformársele en otro movimiento también *rectilíneo alternativo*; en uno *circular alternativo*, y en uno *curvilíneo alternativo*. Son tres cambios, que, agregados a los seis de antes, suman nueve.

Partid ahora del movimiento *circular continuo*.

Puede transformársele en *rectilíneo alternativo*, en *circular continuo*, en *circular alternativo* o en *curvilíneo* no circular, bien *continuo*, bien *alternativo*. Son cinco cambios, que sumados con los nueve anteriores, hacen catorce.

Partiendo ahora del movimiento *circular alternativo*, podemos cambiarlo en otro, también *circular alternativo*, o en uno *curvilíneo alternativo*. Son dos, que agregados a los catorce antedichos, suman dieciséis.

Consideremos ahora el movimiento *curvilíneo continuo* que no sea circular. Podemos transformarlo en *rectilíneo alternativo*, en *circular alternativo*, en *curvilíneo continuo* y en *curvilíneo alternativo*. Estas cuatro transformaciones, sumadas a las dieciséis de antes, hacen un número de veinte.

Por último, un movimiento *curvilíneo alternativo* puede ser transformado en otro también *curvilíneo alternativo*. Resultan, pues, en total las veintiuna transformaciones que antes os dije.

Pero aún hay en rigor que contar las recíprocas, que también son posibles. Teniéndolas en cuenta, resultan treinta y tres transmisiones o transformaciones.

Hay muchas maneras de realizarlas: os daré idea de alguna de ellas. Pero como hechos tan materiales no pueden explicarse sin ayuda de figuras, tendré que valerme a menudo de ellas para hacerme entender de vosotros.

Entre los diversos modos de transformar un

movimiento *rectilíneo continuo* en otro de su misma especie, os citaré la *garrucha*, instrumento que no exige explicación ninguna, pues lo

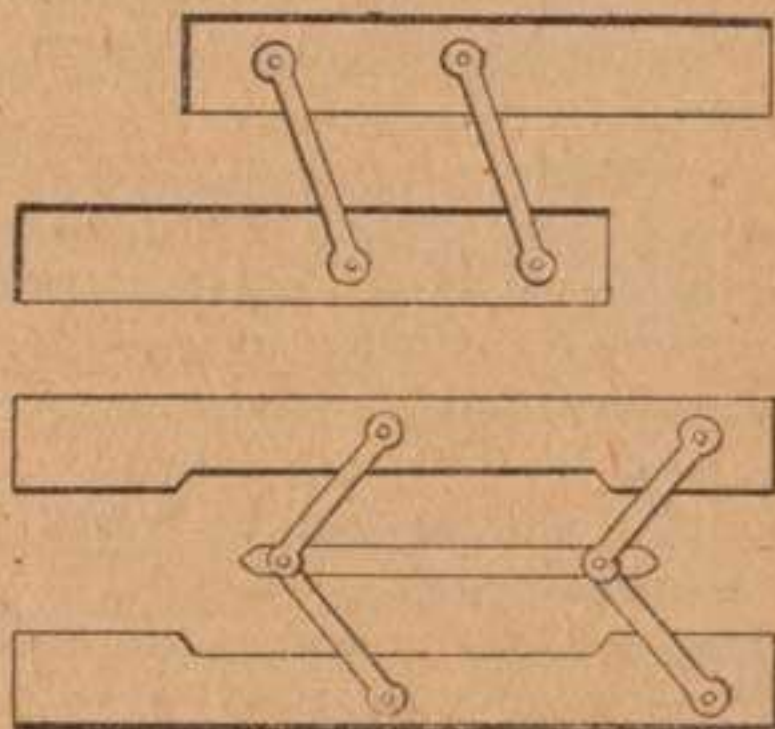


Garrucha.

conocéis de sobra. El ramal de cuerda de que se tira, llena un movimiento rectilíneo continuo, que se transmite al otro ramal de que pende el cubo o el peso que trata de levantarse.

Aquí tenéis tres instrumentos empleados en el dibujo lineal para trazar rectas paralelas—dijo don Juan sacando unos que tenía en un estuche—y que pueden ser presentados como ejemplos de

sistemas de transformar un movimiento rectilíneo continuo en otro semejante, manteniendo uno o varios puntos en movimiento en dirección siempre paralela a una línea recta determinada.



Instrumentos para trazar paralelas.

Estos instrumentos, como veis, se componen de regletas movibles, ligadas entre sí por travesaños girato-

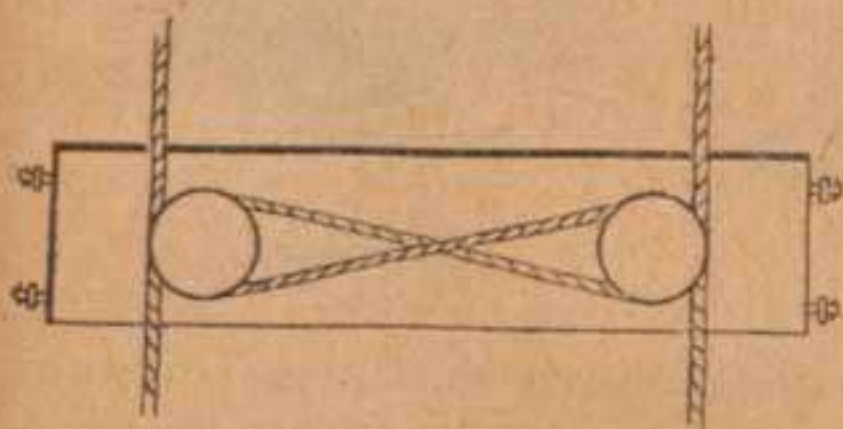
rios sobre puntos fijos, que obligan a esas regle-
tas a conservarse paralelas entre sí.

Este—agregó indicando uno de ellos—lleva
además en las
reglas sendas
ranuras, por
las cuales pue-
den deslizarse
los extremos
de los travesa-
ños.



Aparato para trazar paralelas

Esta figura os muestra—dijo don Juan trazan-
do una con un lápiz en una hoja de papel que
tomó de sobre la mesa—un procedimiento inge-
niosisimo para resolver el

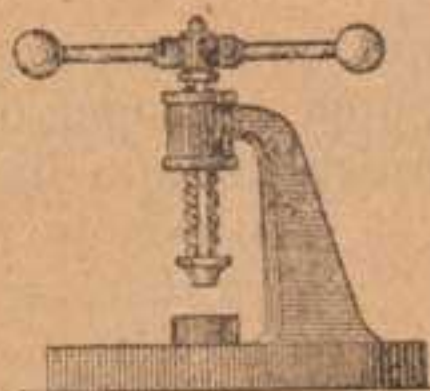


Movimiento rectilíneo alternativo de un cuerpo, con-
servándose éste siempre paralelo a sí mismo.

constantemente paralelo a sí mismo. Es un pro-
blema que se presentó en la industria de la fila-
tura y que tuvo por largo tiempo embargados a
muchos mecánicos ingleses. La pieza cuadrilonga
es el carrillo, que va montado sobre cuatro rue-
decillas. Los dos círculos que veis figurados so-
bre el carrillo son poleas armadas en sendos ejes,

sólidamente fijos en la mesa del aparato. Dos cuerdas, fuertemente tendidas y estiradas, se arrollan a las poleas en forma de zeta. Al avanzar o al retroceder el carrillo se conserva siempre perfectamente paralelo a sí mismo, mediante ese sencillo procedimiento.

El *torno* sencillo o *molinete*, el *cabrestante*, el *criz* o *gato*, el *tornillo* que gira en su tuerca, son ejemplos de aparatos que transforman un movi-



Tornillo.



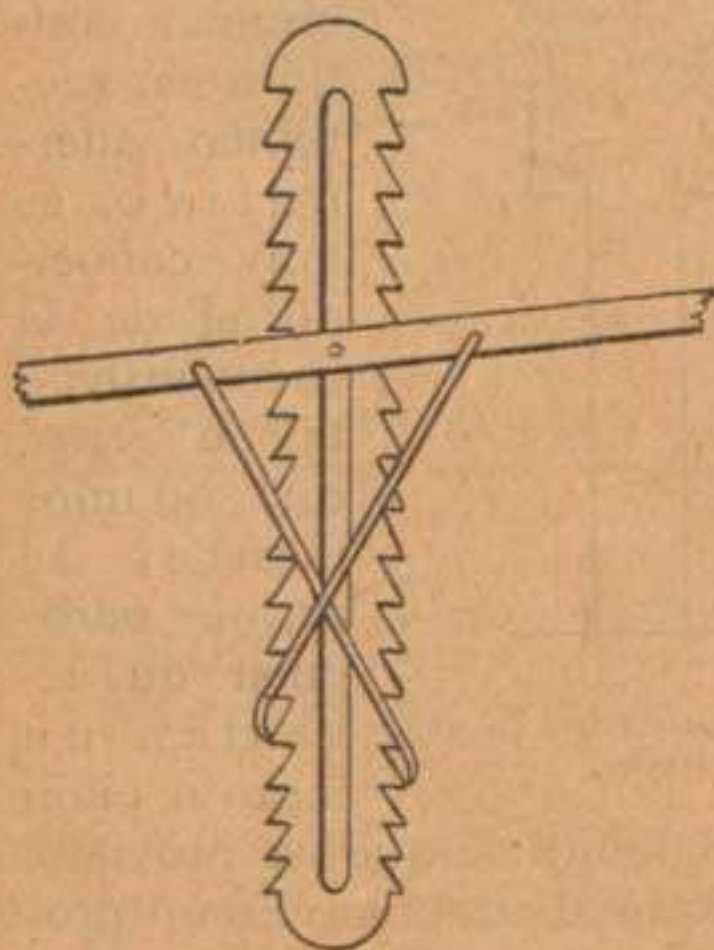
Molinete.

miento circular continuo en rectilíneo continuo, o, a la inversa, uno rectilíneo continuo en circular continuo.

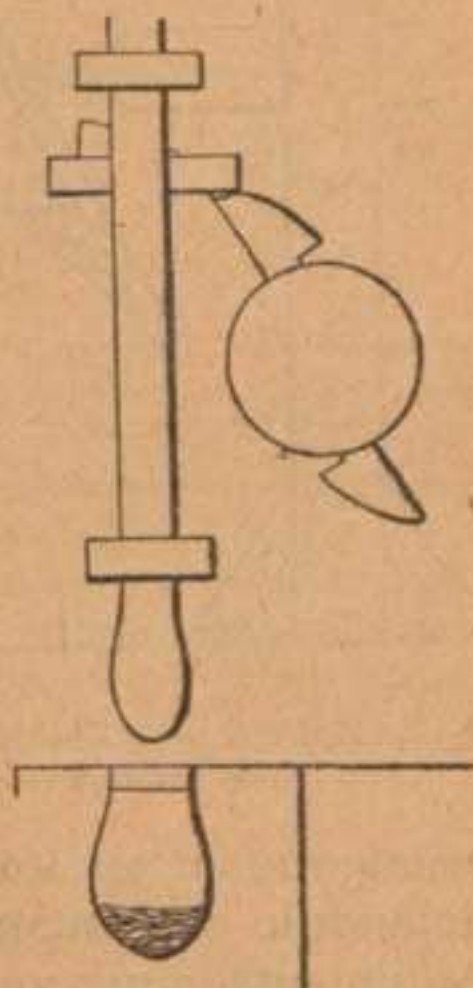
La bomba ordinaria de mano es un ejemplo de transformación de un movimiento circular alternativo en rectilíneo continuo. La mano del que mueve el manubrio de la bomba hace un movimiento circular alternativo, y el agua que asciende por el tubo aspirante de la bomba tiene un movimiento rectilíneo continuo.

Un modo ingenioso de transformar un movi-

miento circular alternativo en rectilíneo continuo os lo muestra esta figura que aquí veis —dijo don Juan a sus hijos, enseñándoles un grabado de un libro que sacó de un estante—. Los ganchos que llevan las barras en sus puntas enganchan en los dientes de la doble cremallera, en los movimientos ascendentes de esas barras, y resbalan



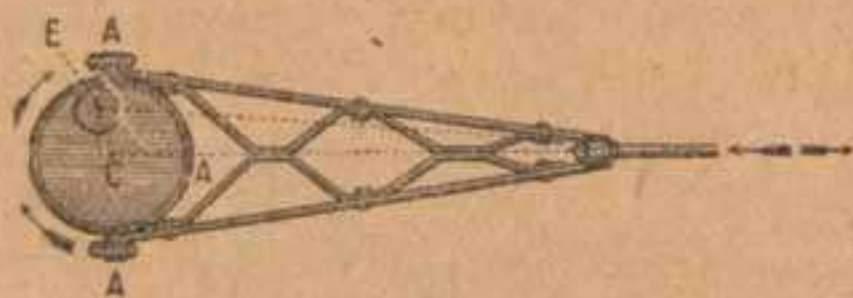
Transformación de un movimiento oscilante en rectilíneo continuo.



Transformación de un movimiento rotativo continuo en rectilíneo alternativo.

sobre ellos en los descendentes. La palanca horizontal en que van montadas las dichas barras puede oscilar sobre un botón que lleva en su me-

un movimiento circular continuo en rectilíneo alternativo. Porque ese plano inclinado, que va sólidamente fijo en el eje y que le acompaña, por lo tanto, en su movimiento de rotación, imprimirá un movimiento rectilíneo horizontal de vaivén



Excéntrica.

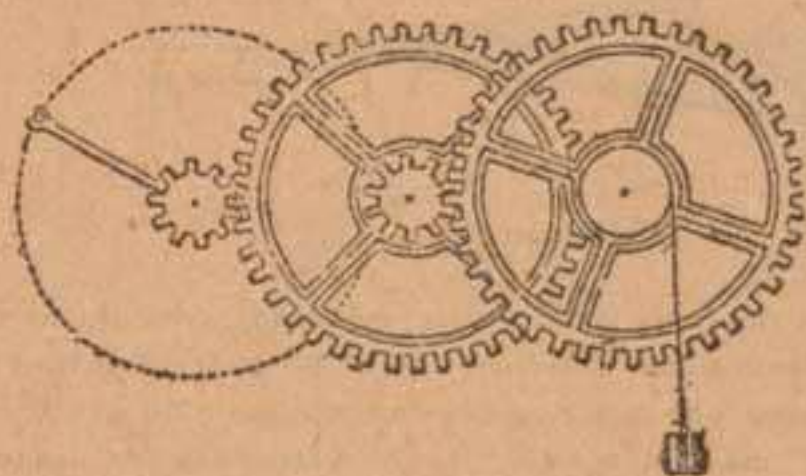
Así se llama cierto órgano muy usado en las máquinas, con objeto de transformar el movimiento rotativo de un eje en el movimiento de vaivén de un vástago. Se reduce a una rueda calada en el eje, pero no en su centro, sino en un punto, *E*, más o menos distante del centro (de cuya circunferencia toma el nombre de excéntrica), rodeada de un collar, *A A A*, que puede girar a rozamiento suave sobre el eje, al cual collar va unido el vástago que recibe el movimiento de vaivén dicho. Se emplean particularmente las excéntricas en las máquinas de vapor para abrir y cerrar automáticamente las válvulas que dan entrada y salida al vapor.

a la barra o pieza que, corriendo sobre unas guías, se vea obligada por algún peso o por un resorte a apoyar una de sus extremidades en el dicho plano.

Otro modo de hacer la misma transformación de un movimiento circular continuo en rectilíneo alternativo consiste en un eje acodado, movido por una manivela y que lleve amarrado al codo el extremo de una cuerda que pase por una polea,

y que permanezca tendida por la acción de un peso.

Otro procedimiento para efectuar la misma transformación consiste en la excéntrica; rueda giratoria sobre un punto no situado en su centro y rodeada de un collarín que puede resbalar sobre su contorno, en el cual va montada una barra



Engranajes.

Transmisión de movimientos circulares continuos por medio de ruedas dentadas y piñones.

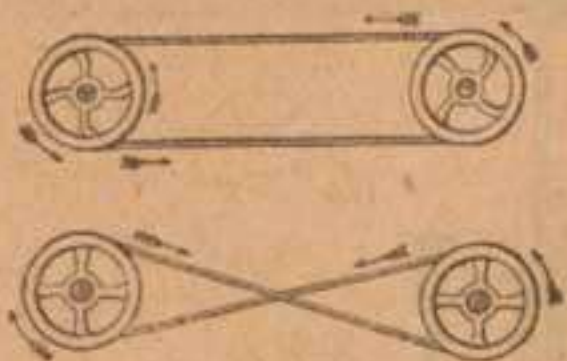
que puede correr sobre guías. El movimiento circular continuo de la excéntrica se transmitirá a la barra en forma de movimiento rectilíneo de vaivén. Se emplea mucho este sistema en las máquinas de vapor, para abrir y cerrar las válvulas de distribución y escape del fluido.

La transmisión de los movimientos circulares continuos es facilísima y se hace de muchas maneras. Las más generalizadas son los engranajes o ruedas dentadas y las cuerdas, correas y cadenas sin fin. Por estas figuras que aquí os presento—dijo don Juan después de haber corrido unas cuantas hojas del libro que antes había sacado del estante—podéis ver cómo se hacen esas trans-

formaciones, conservando o trocando el sentido del movimiento rotativo inicial.

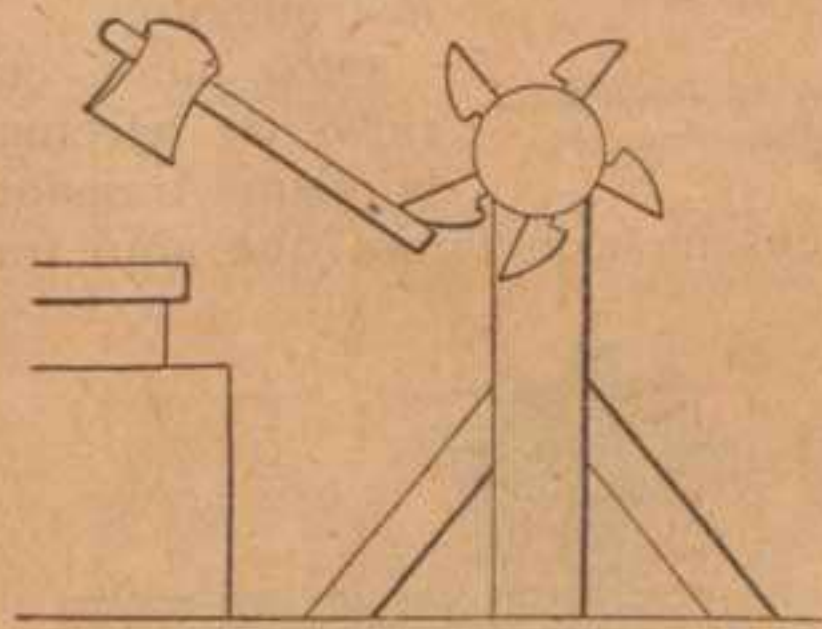
Hay también varios procedimientos para transformar un movimiento circular continuo en circular alternativo.

Uno, muy empleado para mover los martinetes, se vale para el caso de una rueda armada de levas, las cuales, al empujar hacia abajo la cola del mango del martinete al topar con ella, hacen que se levante la parte delantera del mango,



Transmisión de rotaciones por medio de poleas y correas.

- 1.ª Transmisión directa.
- 2.ª Transmisión invertida.

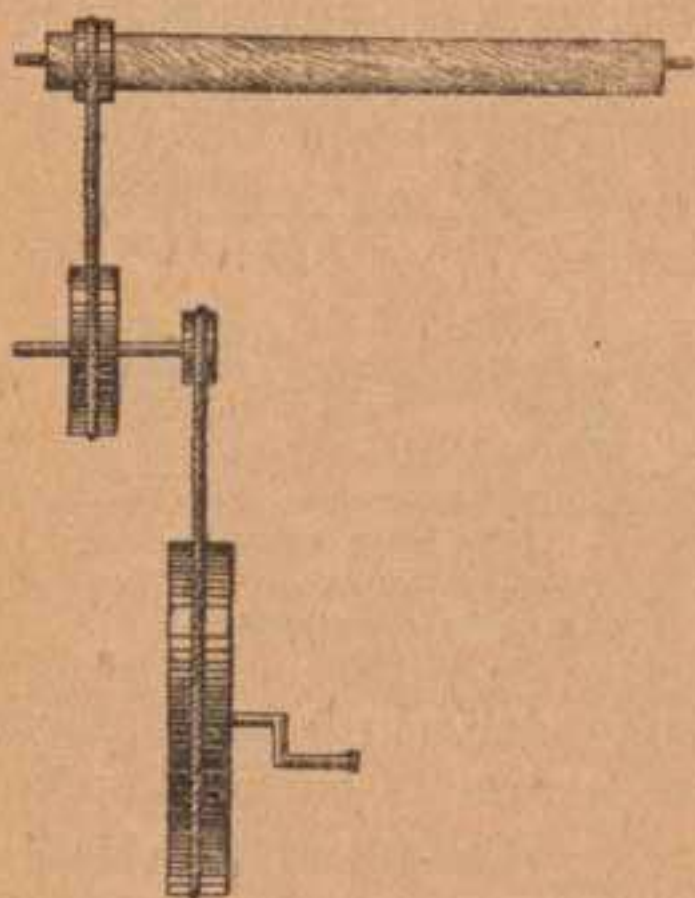


Transformación de un movimiento rotativo continuo en rotativo oscilante.

del mango, donde va armado el mazo del martinete, y al soltarla, dejan que caiga el dicho mazo con todo su peso. Así el movimiento circular continuo de la rueda

que lleva las levas se transforma en el circular alternativo del martinete.

Hay una manera muy conocida de transformar un movimiento circular alternativo en rectilíneo

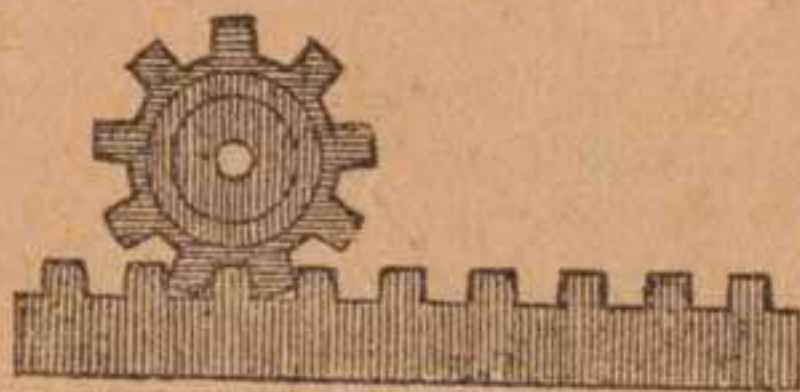


Transmisión de rotaciones por medio de poleas y cuerdas o correas.

mación os lo enseña esta figura que aquí trazo—dijo don Juan dibujando un semicírculo aplicado sobre una palanca susceptible de oscilar sobre su medianía y dos

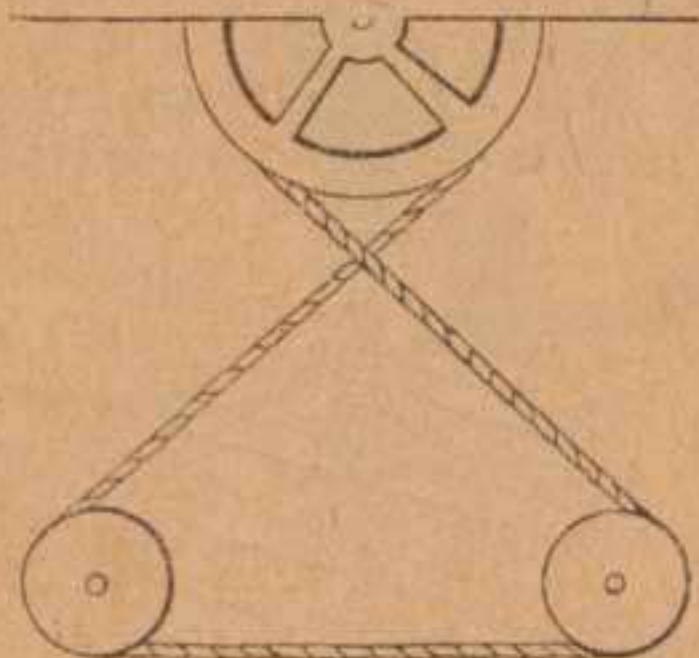
alternativo. Consiste en el aparato llamado *zis-zás*, generalizadísimo como juguete, con diversos nombres vulgares. El movimiento circular alternativo que al impulso de las manos toman los mangos, se transforma en el rectilíneo alternativo de la punta del instrumento.

Otro modo curioso de efectuar la misma transfor-



Combinación de rueda dentada y cremallera. Transformación de un movimiento circular alternativo en rectilíneo alteruativo.

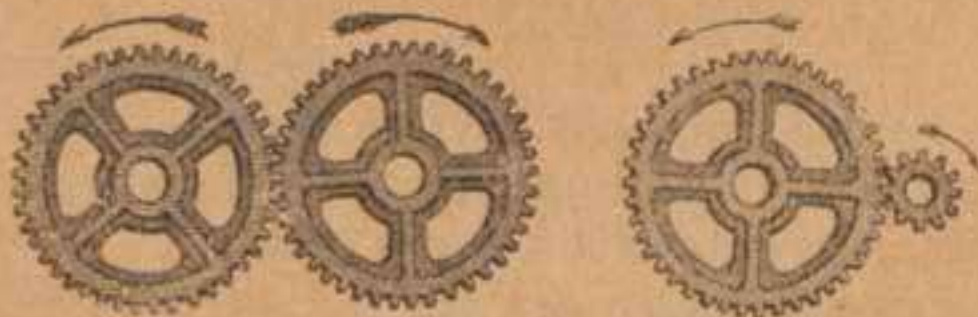
circulitos pequeños debajo de ella. La cuerda o cadena sin fin que se arrolla sobre el semicírculo y sobre las poleas toma un movimiento rectilíneo alternativo que le comunica el oscilatorio o circular alternativo de la palanca.



Transformación de un movimiento rotativo oscilante en rectilíneo de vaivén.

También un balancín que lleve en sus extremos sendos arcos de círculo dentados que engranen con barras corredizas sobre guías puede servir para transformar un movimiento circular alternativo en rectilíneo alternativo.

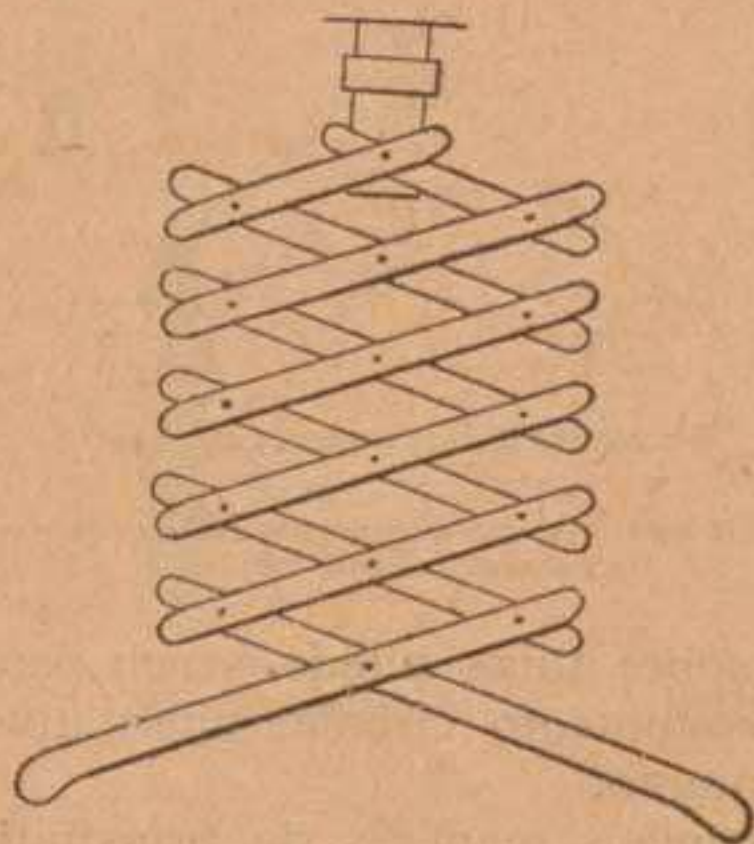
Hay también muchas maneras de transmitir



Transmisión de rotaciones invirtiendo su sentido por medio de ruedas dentadas.

un movimiento circular alternativo. Una muy conocida es la que se emplea en los *tornos de pedal*.

El movimiento oscilatorio, o circular alternativo, del pedal se transmite a un cilindro o rollete giratorio sobre muñones por medio de una cuerda enrollada a ese cilindro y cuyo extremo superior



Zig-zás.

Transformación de un movimiento circular alternativo en rectilíneo alternativo.

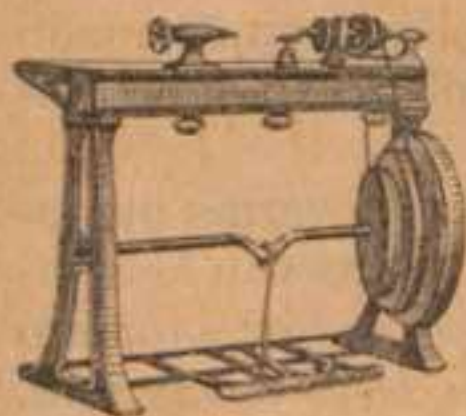
va a sujetarse al cabo de un arco de madera que actúa como resorte.

La transformación de un movimiento rectilíneo alternativo en circular continuo o rotativo es de gran interés, por ser de aplicación ordinaria a

las máquinas de vapor, en las cuales se hace preciso transformar el movimiento de vaivén del émbolo en el rotatorio del eje motor.

—¿Y por qué hay esa necesidad? ¿No podría consistir en el movimiento de vaivén del émbolo, transmitido directamente a una barra que corrie-

ra por unas guías, el definitivo de la máquina de vapor, ya que, como usted nos ha explicado antes, ese movimiento de vaivén podría transformarse en los que se quisiera?—preguntó Luisito—. Así, por ejemplo—prosiguió diciendo—, si hubiera que mover una sierra, no sería preciso cambiar el movimiento de vaivén del émbolo, pues ese mismo movimiento es el que habría de hacer la sierra, y lo mismo sucedería si hubiera que hacer funcionar una bomba, pues el movimiento del émbolo de la bomba es también de vaivén, como el del émbolo de la máquina y el de la hoja de sierra.



Torno de pedal.

—Esa idea tuya la han tenido otros y la han llevado a la práctica por medio de ciertas maquinitas de vapor muy comunes en América, en las cuales la barra del émbolo del cilindro en que trabaja el vapor lleva en uno u otro extremo otro émbolo que corre dentro del cilindro de una bomba; pero esas maquinitas son imperfectas, pues carecen de órgano tan importante y esencial como el volante, y



Rueda de amolar movida por un pedal.

Transformación de un movimiento circular alternativo en circular continuo.

tienen aplicaciones muy limitadas — dijo don Juan.

Has de tener presente, Luisito, que de todos los movimientos, el más sencillo de transmitir y de transformar en cualquiera otro, y el que más conviene, por lo tanto, que nos dé ya hecho la máquina motora, sea de vapor o de cualquiera otra clase, es el circular continuo o rotatorio de un eje.

En ese eje, que se llama eje motor, como ya os dije, es donde, en las máquinas de vapor, suele armarse el volante; y también en él, en casi todos los modelos de máquinas, van montadas las ruedas y poleas que gobiernan las válvulas que dan entrada y salida al vapor en el cilindro, la que hace funcionar el regulador, y las que mueven los émbolos en la bomba de alimentación de la caldera y de la bomba de aire, o sea la que extrae el aire y el agua del condensador, en las máquinas que lo tienen. Es, pues, convenientísimo que la misma máquina motora nos dé ya transformado el movimiento de vaivén del émbolo en el rotatorio del eje motor.

Esa transformación se efectúa de varias maneras. Las más generalmente empleadas son la combinación del llamado *paralelogramo articulado* o *paralelogramo de Watt*, *balancín*, *biela y manivela*, y la de nada más que *biela y manivela*.

El balancín es, como su mismo nombre lo indica, esa gran palanca o pieza, de forma generalmente de rombo muy prolongado, oscilante sobre

su centro, que llevan muchos modelos de máquinas de cilindro vertical. El objeto del balancín es transmitir y transformar a la vez el movimiento de vaivén del émbolo del cilindro en el rotatorio del eje motor de la máquina.

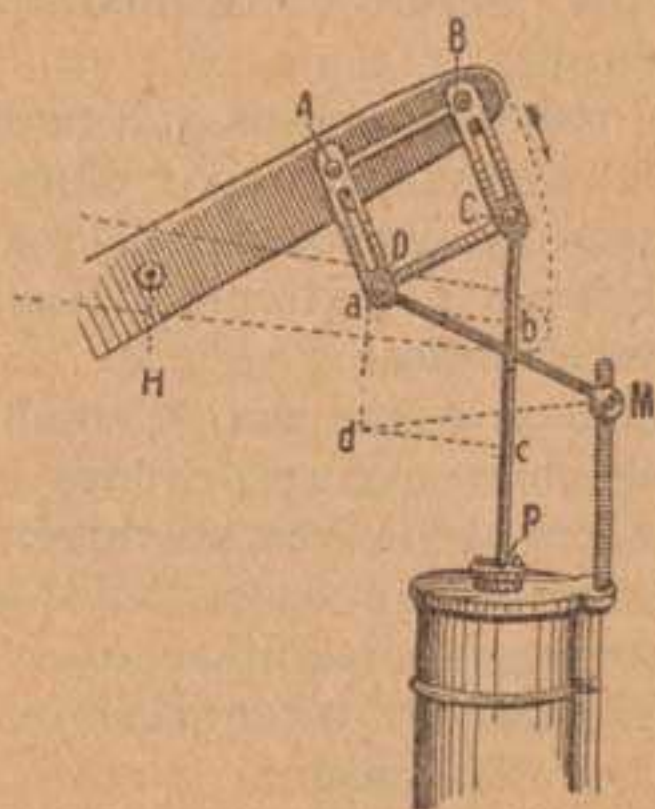
A ese efecto, lleva el balancín en sus extremos sendos pernos que lo atraviesan: el uno, a plomo sobre el centro del cilindro, y el otro, sobre la manivela o cigüeña armada en el extremo del eje motor y destinada a hacerlo girar.

Pero una dificultad se presenta para efectuar esa transmisión, y consiste en que recorriendo la barra del émbolo una recta vertical en su vaivén, y el extremo del balancín un arco de círculo, la barra se torcería o se rompería si se fijase su extremo superior en el del balancín, y vendría a impedir el funcionamiento de la máquina.

Watt, que puede ser considerado como el inventor de la máquina de vapor, resolvió esa dificultad por medio del *paralelogramo articulado*, interpuesto entre la extremidad del balancín y la de la barra del émbolo. Mediante ese mecanismo, que podéis examinar en esta figura—dijo don Juan mostrando una de las láminas del libro que tenía en la mano—, el movimiento de vaivén de la barra del émbolo se transmite en forma de movimiento oscilante a la extremidad del balancín.

El movimiento idéntico a éste que toma la otra extremidad del balancín, se transmite a su vez, transformado en rotatorio, al eje motor por medio de la pieza llamada *biela*, que engancha por arri-

ba en la clavija o perno del balancín, y por abajo en la manivela o mango de la cigüeña montada en el extremo del eje motor de la máquina.



Paralelogramo articulado, llamado también «paralelogramo de Watt». Es un sistema ingenioso empleado en las máquinas de vapor de balancín para transformar el movimiento rectilíneo de vaivén del vástago del émbolo en el oscilatorio del balancín. Éste oscila sobre el punto *H*. *ABCD* es el paralelogramo articulado; *abcd*, la posición que tiene en lo más bajo de su movimiento oscilatorio; *aM*, la pieza llamada «brida»; *P*, el agujero de la tapa del cilindro por donde sale el vástago del émbolo. Mediante el paralelogramo, el punto *C* puede describir una línea recta, mientras el punto *B* describe un arco de círculo.

No sólo inventó Watt el paralelogramo articulado, sino el regulador, el aparato de distribución del vapor en el cilindro y otros órganos esenciales de la máquina, y la dotó de varios más, ya conocidos, pero combinándolos perfectamente, armando así la máquina en conjunto y haciendo de ella uno de los instrumentos de trabajo más maravillosos de que disponen los hombres. Sobre la base de la máquina de Watt se han ideado otras

infinitas, de las cuales las hay perfectísimas.

Hay otra manera muy usada de transmitir el movimiento de vaivén de la barra del émbolo,

transformándolo en el rotatorio continuo del eje motor—prosiguió diciendo don Juan—. Consiste en enganchar la *biela* a la barra del émbolo por uno de sus extremos, y a la manivela del eje motor por el otro. En este sistema, la barra del émbolo corre por unas guías, y, en muchos casos, la manivela del eje motor es sustituida por un codo que forma parte del mismo eje, o, mejor dicho, el eje motor, en vez de ser recto, tiene forma acodada, siendo a la vez eje y manivela.

Creo, Carmencita, que he contestado a las preguntas que me hiciste; supongo que habrás quedado satisfecha.

—En cuánto a las maneras que hay de convertir unos movimientos en otros, si no puedo decir que he quedado bien enterada, pues veo que la cosa es complicadísima, por lo menos me he hecho cargo en globo de ella y debo darme por satisfecha; pero quedó usted, papá, en decirnos algo sobre las fuerzas que producen esos movimientos, y hasta ahora no lo ha hecho—dijo Carmencita.

—Os diré algunas palabras sobre la fuerza—replicó don Juan—; pero no es asunto para tratado



Transformación del movimiento de vaivén rectilíneo del émbolo de una máquina de vapor en el circular continuo del volante, mediante combinación de biela y manivela.

de ligero y merece que le dediquemos una tarde entera.

VII

—¡Vamos a ver, niños!; contestadme a esta pregunta: ¿es la fuerza quien produce el movimiento o es el movimiento quien produce la fuerza?—dijo don Juan algunas tardes después a sus hijos, Carmencita y Luisito, que estaban sentados con él en un banco del jardín.

—Pero, ¿de qué fuerza habla usted y de qué movimiento!—preguntó Luisito.

—De la fuerza y del movimiento, considerados en general y en abstracto—contestó don Juan.

—Yo no entiendo qué quiere usted decir con eso de fuerza y de movimiento en abstracto—dijo Luisito.

—Ya habéis visto que todos los movimientos, cualesquiera que sean su especie, su dirección y su sentido, pueden transformarse en el movimiento que se quiera, pudiendo decirse que son todos una misma cosa: cambio de posición o de lugar en el espacio. Las fuerzas pueden, igualmente, sustituirse entre sí, como ya os dije. La del vapor de agua, la eléctrica, la hidráulica, la animal, la del viento, no sólo se sustituyen con iguales resultados, sino que se transforman unas en otros, de modo que también podemos considerarlas reducidas a una sola fuerza. Figuraos ahora que froto fuertemente y con gran rapidez un trozo de madera contra otro durante un rato:

¿sabéis que esos trozos de madera se calentarán y acabarán por arder?

—He leído—dijo Luisito—que así encienden fuego los salvajes.

—Los salvajes y muchos que no lo son encienden y han encendido fuego de esa manera—dijo don Juan—. Pero todo el mundo sabe que los cubos de las ruedas y los ejes se recalientan con el movimiento; y sin acudir a tales ejemplos, tenemos el sencillísimo de calentarnos las manos frotándolas una contra otra; procedimiento que todos los hombres siguen cuando las tienen frías, sin que nadie se lo haya enseñado. Ahora bien, ya os he dicho que todas las fuerzas que conocemos no son más que la del calor en una forma o en otra. Recordadlo, y contestadme, después de pensarlo despacio, a la pregunta que antes os hice: ¿es el movimiento el que produce la fuerza o es la fuerza quien produce el movimiento?

—Indudablemente, es el movimiento quien produce la fuerza—contestó Luisito.

—Pues yo no lo veo así—dijo Carmencita—, pues el que frota los pedazos de madera uno contra otro, o se frota las manos, tiene que hacer fuerza: de modo que, para mí, es la fuerza quien produce el movimiento.

—Pero no tienes en cuenta, Carmencita—le objetó don Juan—que fuerza es la llamada *fuerza vital*, esto es, la fuerza de la vida, y que la vida—en lo que en ella hay de material, se entiende—no es sino una de tantas formas o mani-

festaciones del calor, resultado de las reacciones químicas entre las sustancias que forman el cuerpo del ser viviente, sea animal o vegetal.

—Pero si la vida—dijo Carmencita—es una forma del calor, y resultado de esas... ¿cómo nos dijo usted, papá?

—Reacciones químicas—se apresuró a contestar Luisito, antes de que su padre lo hiciera.

—Eso es—siguió diciendo Carmencita—; se me habían olvidado esas palabras, que no sé lo que significan. Pues repito, papá, que si el calor de la vida nace de las reacciones químicas de las sustancias del cuerpo, no será el calor quien frote los dos pedazos de madera, sino esas reacciones químicas que usted dice. ¿Qué son reacciones químicas y cuál es la causa de ellas?

—No sé si me entenderás, Carmencita; pero reacciones químicas se llaman las combinaciones de unas materias con otras para formar materias distintas de las componentes, y descomposiciones de materias ya compuestas en aquellas de que se componen. La causa que produce esas uniones y separaciones son las llamadas afinidades químicas, que son, en definitiva, fuerzas de atracción o de repulsión.

—No le entiendo a usted bien, papá; pero sí lo bastante para comprender que esas reacciones químicas son movimientos, y que las causas que las producen son fuerzas; de modo que tenía yo razón cuando decía que la fuerza es quien produce el movimiento y no el movimiento quien pro-

duce la fuerza, como cree Luisito. ¡Pero qué cosas tan hondas son todas éstas, papá!

—¡Y tan hondas!—contestó don Juan—; pero tu curiosidad, que no desapruedo, nos ha conducido a tratar estas cuestiones enrevesadísimas en que la inteligencia se pierde. Te diré que Luisito y tú tenéis los dos razón y no la tenéis; pues tan buena la hay para creer que el movimiento es efecto de la fuerza como que la fuerza es efecto del movimiento. Lo cierto es que sólo podemos concebir la quietud por un esfuerzo de imaginación, pues nada conocemos que esté en reposo, y también es verdad, o parece serlo, que no hay movimiento sin fuerza que lo produzca o que lo haya producido, y tan es así, que no hay otra manera de definir la fuerza que diciendo que es la causa del movimiento.

—Pues yo creo—dijo Luisito—que esa casa que tenemos ahí delante no se mueve; ni este banco en que estamos sentados tampoco, ni otras muchas cosas; así que no entiendo eso de que no conocemos la quietud más que por un esfuerzo de imaginación.

—Te engañas, Luisito; todas esas cosas que dices se mueven, y rapidísimamente. Te parecen quietas, porque comparas su situación con las de los objetos que las rodean. Si alguna vez viajaras por mar verías que para darte cuenta de que el barco se mueve tienes que subir a cubierta y mirar al mar, pues en lo interior del buque te parece que todo está en el más completo reposo, y,

sin embargo, todo cuanto allí te rodea, y tú mismo, se mueve con el barco. Todo lo que has dicho forma parte del mundo, y el mundo está animado de tal número de movimientos, que se pierde la cuenta de ellos. ¿Sabes tú cuántos son los movimientos de nuestra Tierra?

—He aprendido, papá, que da una vuelta redonda sobre su eje en veinticuatro horas.

—Pues aunque no tuviera otro movimiento que ese que dices, ya sería bastante para que no fuera verdad que esa casa y este banco están quietos, pues que forman parte de la Tierra; ¿no lo comprendes?

—Además de ese movimiento, la Tierra da una vuelta completa alrededor del Sol en un año—siguió diciendo Luisito.

—Motivo de más para que no esté quieto nada de lo que vemos alrededor nuestro—dijo don Juan—. Te repito, pues, que sólo por un esfuerzo de abstracción podemos concebir la quietud. Ese movimiento universal podría inducirnos a suponer que el movimiento es lo primero, y la fuerza consecuencia del movimiento, como antes dijiste; pero sucede, por otra parte, que la fuerza es general también en todos los espacios: ¿sabes de qué fuerza hablo?

—Me figuro—replicó Luisito—que habla usted de la fuerza de la gravedad.

—De ésa hablo—dijo don Juan—; pero no la llares gravedad, pues esa palabra tiene significado muy restringido, sino gravitación, que es su

propio y verdadero nombre. Gravitación es la atracción que ejercen unos cuerpos sobre otros.

No conociendo, como no conocemos, espacio alguno en el Universo donde no haya gravitación, hay razones para suponer que sea la fuerza la causante del movimiento, y no el movimiento el causante de la fuerza. Pero considerando a la vez que si los astros sólo obedecieran a la gravitación se precipitarían los unos sobre los otros, y que si no lo hacen, sino que giran unos alrededor de otros, es porque están animados de movimientos que se combinan con el que les imprime esa fuerza, y esos movimientos de que hablo no son producidos por fuerza alguna presente, se puede pensar que el movimiento es anterior a la fuerza. Ya veis que la pregunta que os hice no es fácil de contestar de un modo satisfactorio.

—Pero papá—dijo Luisito—, no son sólo los astros los que se mueven, ni es la gravitación la única fuerza que conocemos.

—Es cierto—le replicó don Juan—; pero hay gran inclinación hoy en todos los que cultivan las ciencias físicas y que al mismo tiempo se dan a meditar sobre las causas de los fenómenos de la Naturaleza, que todas las fuerzas son formas o manifestaciones distintas de una misma, que es...

—Ya nos ha dicho usted que la del calor—interrumpió Luisito.

—Verdad es—replicó don Juan—, pero ha sido deteniéndome en uno de los peldaños de la escalera, sin llegar a su cumbre; porque no tenía nece-

sidad de complicar excesivamente la materia de que estábamos tratando cuando os lo dije; pero ahora llegaré más arriba y os diré que la fuerza única que se supone ser la que promueve todos los fenómenos naturales, es la gravitación, o, diciéndolo de otro modo, la atracción de la materia por la materia.

—Pero hay que andar mucho para llegar desde esa fuerza de atracción que usted dice hasta la fuerza repulsiva de que nos habló usted al explicarnos la dilatación de los gases y de los vapores. ¿No nos dijo usted que esa fuerza repulsiva es la que hace andar las máquinas de vapor?

—Es que puede ser la misma que hace que la materia atraiga a la materia. ¿No os acordáis de que la pesantez, que es la fuerza que hace caer a los cuerpos, es también la que hace subir a los globos? Pues si la misma fuerza que empuja a un cuerpo hacia abajo puede empujarlo hacia arriba, no os sorprenderéis de que la atracción pueda manifestarse por repulsión. En las lucubraciones acerca de la naturaleza de la fuerza se ha llegado hasta pensar que lo que pasa en lo grande pasa también en lo pequeño, y que los movimientos giratorios que efectúan los astros se repiten en lo interior de la masa de todos los cuerpos, y que los átomos que los forman son verdaderos astros en miniatura. ¿Entendéis lo que os digo?

—Yo, por mi parte, le entiendo a usted perfectamente—dijo Carmencita.

—Y yo también—agregó Luisito—: pero, con perdón de los sabios, me parece que todo eso es soñar. ¿No cree usted, papá, que tengo razón?

—El juicio que se forme sobre las cosas depende mucho del terreno en que se coloquen para examinarlas y del grado de ilustración que alcance—dijo don Juan—. Para el que sólo se preocupe de negocios de ventas y compras, por ejemplo, las cosas de la Astronomía son inútiles, y dedicarse a su estudio, una manera como cualquier otra de perder el tiempo; y a no ser porque ve en los almanaques que los eclipses y otros fenómenos se anuncian y cumplen de un modo riguroso. pensaría que todo en esa ciencia es pura palabrería, música celestial, como comúnmente se dice, y, sin embargo, no hay ciencia más precisa ni más exacta que la Astronomía.

Las ideas de que os he hablado acerca de la naturaleza de la fuerza se fundan en la observación de multitud de hechos reales. La imaginación se apodera de esos hechos, los enlaza y los generaliza. El poder trocarse unas por otras todas las fuerzas naturales que conocemos, y el ser una de ellas la pesantez o gravedad, la cual es indudablemente la misma gravitación universal, ha inducido a que se suponga que todas ellas son una misma bajo diferentes formas, y que esa fuerza es la de la gravitación, que, trasladada a lo pequeño, se llama afinidad, cohesión y de otras maneras. Hasta ahora no son ideas prácticas; pero pueden, con el tiempo, y en parte

a lo menos, llegar a serlo. Muchas verdades que son hoy de carácter completamente científico, fueron presentadas y enunciadas por los antiguos sabios griegos, cuando todavía distaban mucho de poder probarse con argumentos incontestables.

Días pasados os hablé de los movimientos y de sus transmisiones y transformaciones, materia que pertenece a la parte de la Mecánica llamada Cinemática; hoy os he hablado de la fuerza, considerada en abstracto, que es del dominio de la parte de la Mecánica llamada Dinámica. ¿Queréis algo más sobre lo uno o sobre lo otro?

—Nos ha explicado usted cómo se transmiten y cambian los movimientos, pero no las fuerzas— dijo Carmencita.

—Sería asunto muy largo; así, que me limitaré a deciros que se hace pasando de la fuerza al movimiento y del movimiento a la fuerza, o más claro, produciendo movimiento con la fuerza y produciendo fuerza con el movimiento. Ahora conviene que sepáis que la fuerza no se crea; no se saca de la nada: es eterna y no crece ni mengua; es y será siempre la misma, sin que podamos modificarla en más ni en menos. Este hecho se condensa en el principio que llaman de *conservación de la energía*, que, aunque lo parezca, no está en contradicción con el de *degradación de la energía*, en cuya virtud no hay transmisión ni transformación de fuerza sin pérdida mayor o menor de ella.

—Confieso, papá, que no le entiendo a usted una palabra—dijo Luisito.

—Ni yo tampoco—dijo Carmen.

—Pues se trata de una cosa muy sencilla.

Imaginaos por un momento que el agua fuera un cuerpo de los que se llaman en Química simples; esto es, de los que no pueden descomponerse en dos o más. Claro es que en tal supuesto podría afirmarse que el agua que existe en el mundo se conservaría eternamente sin variación alguna. Entre la que hay en el mar, en los ríos, arroyos y lagos, embebida en la tierra, en forma de vapor en las nubes, etc., se formaría una cantidad total que no habría modo de modificar, ¿no es así?

—Seguramente—contestó Carmencita—; nada más que Dios, que es quien puede crear y aniquilar las cosas, podría darnos más agua o quitarnos alguna de la que tenemos.

—¡Bueno!, pues a lo que llamamos agua llamado fuerza, y ahí tenéis explicado el primer principio que os dije. No hay poder bastante para aumentar ni para disminuir en un solo adarme la fuerza que existe.

Ahora bajemos de esas alturas y supongamos que disponemos de una cierta cantidad de agua, y que la tenemos en una tinaja. Para utilizarla necesitamos sacarla de la tinaja y echarla en jarrros, botellas, vasos, ollas y otros recipientes, e iría pasando de unos a otros. Comprenderéis que en todas esas transmisiones sufrirá pérdidas la

cantidad de agua de que disponíamos, de modo que si eran cincuenta litros, por ejemplo, sólo aprovecharemos cuarenta y ocho, porque dos se habrán perdido entre la que se ha quedado pegada a las paredes de las vasijas y la que se ha derramado en cada trasvase. No ha desaparecido una sola gota de agua de la tinaja: todo está en una parte o en otra, pero no podemos utilizarla toda; la que se derramó o quedó pegada en las paredes de las vasijas está perdida para nosotros: ¿estamos conformes?

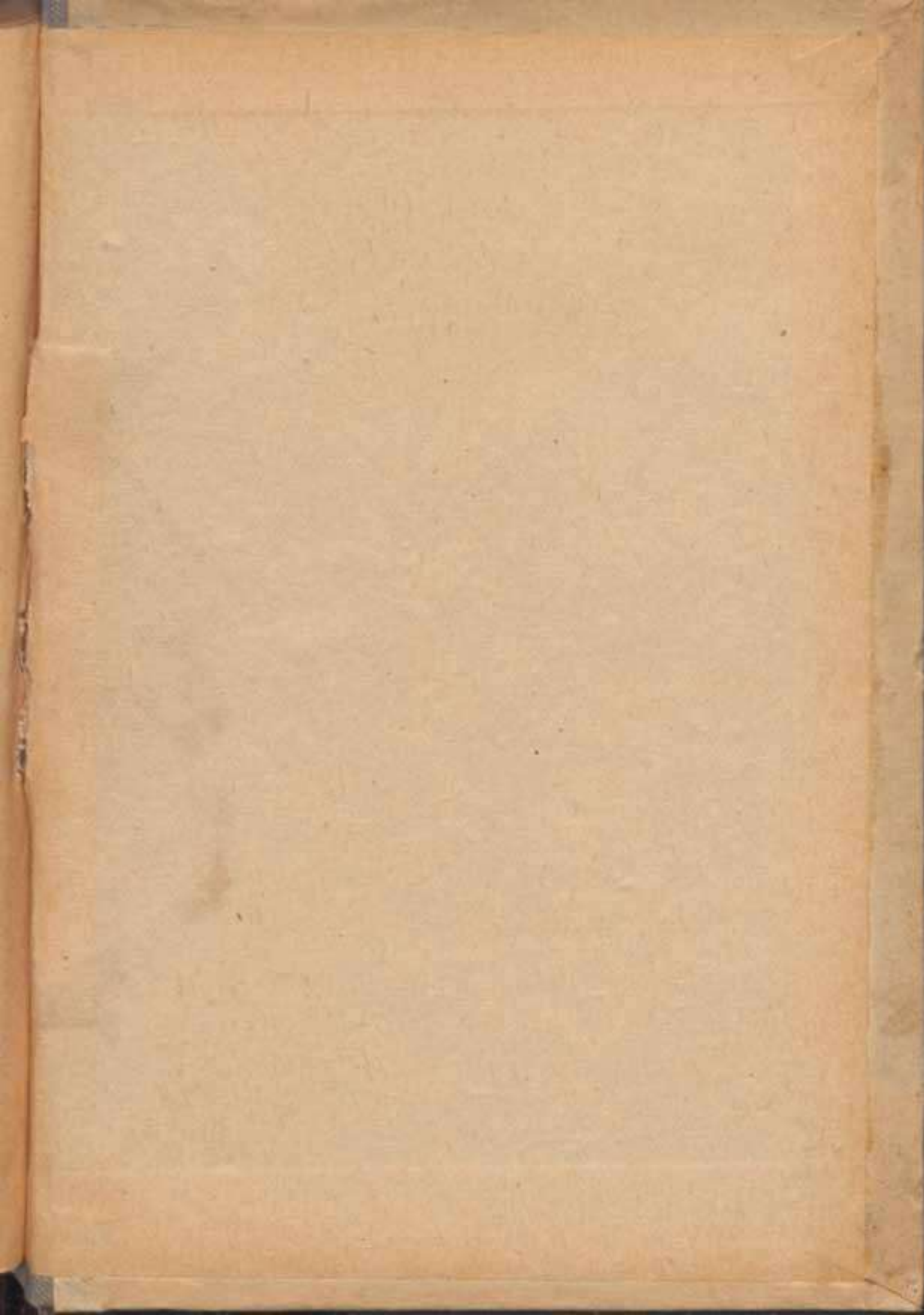
—Conformes—respondió Luisito.

—Pues, lo mismo que antes, llamad al agua fuerza, y ahí tenéis explicado el segundo principio. No nos es posible aprovechar en toda su integridad ninguna fuerza de que dispongamos: al utilizarla y al transmitirla sufre pérdidas que no tenemos modo de recobrar, sin que en realidad se haya aniquilado parte alguna de esa fuerza.

—¿Y es mucha la cantidad de fuerza que se pierde al transmitirla?—preguntó Luisito.

—Depende de la clase de fuerza y de la manera de transmitirla—le contestó don Juan—. En general es más la que se pierde que la que se aprovecha. En la transmisión de la fuerza del vapor, se calcula la pérdida en las tres cuartas partes. Ya veis si responde o no a un hecho importante el que se consigna en el principio de la degradación de la energía.

FIN



CALLEJA

MADRID

EL PENSAMIENTO INFANTIL
METODO DE LECTURA PUBLICADO POR
SATURNINO CALLEJA FERNÁNDEZ

1.ª PARTE. — INSTRUIR DEBITANDO

Un tomo en 8.º de 128 páginas, con 366 grabados. —
EDICIÓN COMPLETA: Encuadernada en pasta al cromo. —
EDICIÓN ECONÓMICA: En pasta flexible.

2.ª PARTE. — LENGUAJE DE LOS NIÑOS

Un tomo en 8.º de 204 páginas y 250 grabados. —
En pasta al cromo.

3.ª PARTE. — LOS DEBERES DE LOS NIÑOS

Un tomo en 8.º de 306 páginas y gran ilustración. —
En pasta al cromo.

4.ª PARTE. — ENCICLOPEDIA PARA NIÑOS

Un tomo en 8.º de 512 páginas y 500 grabados. — En
pasta al cromo.

5.ª PARTE. — LECTURA DE VERSOS Y MA-
NUSCRITOS

Un tomo en 8.º de 300 páginas y gran ilustración. —
En pasta al cromo.

6.ª PARTE. — EL GRÁFICO

Un tomo en 8.º de 400 páginas y 1.200 grabados. —
En pasta al cromo.

7.ª PARTE. — RECUERDOS DE ESPAÑA

Un tomo en 8.º de 280 páginas y gran ilustración. —
En pasta al cromo.

8.ª PARTE. — DON QUIJOTE DE LA MANCHA

por CERVANTES. — Un tomo en 8.º de 682 páginas, y
artísticos grabados. — En pasta al cromo.

DETALLES EN CATÁLOGO
QUE SE ENVÍA GRATIS

L. E