

chado : enfriémosla en el agua ; ya vuelve á pasar por el anillo.

SILV. — Pasad adelante.

TEOD. — Los sólidos se dilatan aun mucho menos que los líquidos, pues el plomo, el metal mas dilatable, solo se dilata á 100° una $\frac{1}{37}$ parte, mientras que el azogue, el líquido menos dilatado, se dilata á la misma temperatura un $\frac{1}{333}$. Tambien, presentan diferencias como los líquidos, y basta haber visto calentar una barra de hierro y un pedazo de carbon para no quedar ninguna duda. Lo mismo que los líquidos, á medida que se acercan á la ebullicion, los sólidos ya no guardan la proporcion primera, á medida que se acercan al momento en que van á derretirse ; así el hierro se dilata mas pasando de 500° á 400° que pasando de 100° á 200°. El vidrio se dilata mucho mas rápidamente que los metales sólidos. Así, como los gases tienen el termómetro diferencial y los líquidos el termómetro ordinario para poder medir sus grados de dilatacion, así los sólidos tienen su instrumento propio llamado *pirómetro*, el cual tampoco os explicaré, sino cuando os explique los dos primeros. Vamos ahora á ver los efectos del calórico sobre los cuerpos, relativamente á la mudanza de estado que acarrea en ellos.

EUG. — Este sí que me parece punto interesante.

§ V.

Trátase del cambio de estado de los cuerpos por el calórico.

TEOD. — Hablando de los cuerpos sólidos, líquidos y fluidos elásticos, ya vimos que debiamos atribuir estos estados á ciertos equilibrios mas ó menos estables que se establecen entre las fuerzas de cohesion y la repulsion de las partículas del calórico. Así es una consecuencia natural que destruyendo estos equilibrios, se ha de destruir el estado actual de cualquier cuerpo ; lo cual puede conseguirse de dos modos : ó aumentando la fuerza repulsiva del calórico, introduciendo en las moléculas del cuerpo mayor cantidad de este fluido imponderable ; ó aumentando la fuerza de cohesion, quitando calórico del cuerpo, cuyo estado se quiera modificar. La facilidad con que la mayor parte de los cuerpos pasan del estado sólido al líquido, del líquido al gaseoso ó aereiforme, añadiendo calórico, ó bien del gaseoso, al líquido del líquido al sólido, quitando porcion de dicho fluido, os demuestran claramente la realidad de lo que acabo de deciros. Vamos á ver pues el paso de los cuerpos del estado sólido al estado líquido. Aquí tengo este pedazo de plomo ; calentémoslo lentamente dentro de este plato, y vereis como, primero se dilata progresivamente, segun las leyes que hemos establecido ; aplicándole el termómetro, podriamos saber las adiciones de

calórico que va recibiendo : miradlo ya como se derrite, y como lo hace por partes, de suerte que cada nueva porcion de calórico que llega va á derretir nueva parte : si ahora le aplicamos el termómetro este no subirá mas de lo que ha subido cuando ha empezado á derretirse, con todo no podeis negar que continuamente le llegan nuevas cantidades de calórico.

EUG. — Esto es bastante singular.

TEOD. — Lo que hemos hecho con el plomo pudiéramos hacerlo con la mayor parte de los sólidos, pues en efecto la mayor parte son susceptibles de pasar al estado líquido, ó sea de derretirse por medio del calórico que se introduzca en ellos, y no hay mas diferencia que la de la cantidad necesaria para cada uno ; pues varia esta cantidad conforme son los cuerpos que se quiera derretir. Este fenómeno se llama *fusion*, y término de *fusion* el grado de temperatura á que cada cuerpo lo presenta.

SILV. — Yo creo que os equivocais, diciendo que la mayor parte de sólidos se derriten. Y os citaria yo muchos que no lo son.

TEOD. — En vuestro tiempo, Silvio, convengo en que habia muchos cuerpos que se tenian por infusibles ; mas desde la invencion del instrumento que se llama *soplete*, casi no se conoce ninguno que no lo sea.

SILV. — Esplicadme, Teodosio, si podeis, cual es vuestro sistema, porque cuando, para curar ciertas enfermedades del hombre, mando aplicar el frio á alguna parte del cuerpo, se enfria mas la parte aplicando hielo, que aplicando agua á cero, esto es á

la misma temperatura que el hielo, y es esto tan cierto que cuando aplico agua la he de mudar mas á menudo.

TEOD. — Esto es una consecuencia de lo que he dicho sobre la fusion de los sólidos. El hielo es agua sólida, ya veremos luego como pasa á este estado : aquí tengo una porcion que he mandado traer ; veis que el termómetro señala 0° aplicándolo al hielo : pongamos esta masa de agua sólida en aquella sala, cuya temperatura es de 40° . Vais á ver como el hielo se derrite poco á poco, sin que el termómetro suba : y con todo no podria derretirse si no recibiese cantidades nuevas de calórico. Cuando la masa total de hielo estará derritida, el termómetro señalará todavia 0° . Esta esperiencia que hago ahora se ha practicado muchas veces, y para que no perdamos tiempo aguardando que se derrita el hielo haremos otra que esplicará la dificultad de Silvio, Aquí hay un kilógramo de agua líquida á 0° , y aquí otro kilógramo de agua líquida tambien, á 77° ; los mezclo rápidamente ; ahora tengo una masa de agua de dos kilógramos : pongo el termómetro y me da $58^{\circ}, 5$, esto es el término medio aritmético entre las dos temperaturas primitivas : de suerte que los 77° de uno de los kilógramos de agua se ha repartido igualmente entre los dos. Ahora tomo un kilógramo de agua líquida á 77° y otro de agua sólida á 0° ; los mezclo y agito ; el hielo se derrite poco á poco... pongo ahora el termómetro y señala 0° , esto, es los 77° del kilógramo de agua líquida han desaparecido completamente para derretir un kilógramo de agua sólida ó de hielo. De esto se sigue que cuando el

hielo se ha derretido ha absorbido tanto calórico como se necesita para dar al agua una temperatura de 77°. Black, célebre físico, que imaginó el primero el experimento que acabo de hacer, dijo que este calórico se combinaba con el agua, se hacia *latente*, y por esto el termómetro no indica su presencia; mas ninguna necesidad tenemos de admitir dos especies de calórico para la esplicacion de este fenómeno, como veremos cuando hablemos de la capacidad de los cuerpos para el calórico. Vamos pues á dar solucion á la dificultad de Silvio. El agua líquida á 0° roba, por una ley que ya va esplicada sobre el equilibrio del calórico radiante entre todos los cuerpos, á la parte del cuerpo enfermo bastante calórico para ponerse á la misma temperatura; mas su accion irá disminuyendo á medida que se calentase al agua, mientras que el hielo le robará una cantidad de calórico capaz de llevar el agua líquida á 77°, sin que por eso pase de 0°.

SILV. — Quedo satisfecho, de modo que si supusiéramos que la frente por ejemplo tuviera 77° grados de calor y esto diese dolor de cabeza, poniendo agua á 0°, solo disminuiria por mitad el calor, y aun en el caso que esta agua se repartiase pronto en el calórico de la frente; mientras que el hielo, puesto en la parte, dentro de una vejija, para que el agua que se iria formando no se escapase, le robaria todos los 77°.

TEOD. — En globo así podeis decir que sucederia, pero ya concebís que ha de haber algunas diferencias relativas á las condiciones del cuerpo humano, manantial de calórico, que alejan la exacti-

tud en lo que acabais de decir, sin que por esto impidan que realmente con el hielo se refresque mas una parte que con el agua, aunque ambas aguas esten á 0°. Esto mismo os esplica porque no tenemos grandes aguaceros ni avenidas inundaderas, como habia de haberlas si esas masas enormes de nieve de que estan cubiertas las montañas, no necesitasen grandes cantidades de calórico para derretirse. A no ser así luego que la temperatura de la atmósfera se hallaria sobre cero, todos los hielos y nieves acumuladas en las montañas, durante el invierno, se derretirian á la vez y rápidamente, inundando las llanuras como un segundo diluvio. Mas ya que hemos hablado hasta ahora del agua pasada al estado sólido, veamos ahora qué viene á ser la solidificacion de los líquidos. Casi todos los líquidos que conocemos pueden, en efecto, pasar á ser sólidos, quitándoles una porcion de calórico; mas notad que entre los líquidos en general los hay como el eter, el espíritu de vino, el azogue, y ordinariamente el agua que lo son á las temperaturas ordinarias de la atmósfera, y otros como los metales derretidos que solo son fluidos bajo temperaturas muy altas, ya naturales, ya artificiales. Cuando los primeros pasan al estado sólido, se dice este fenómeno *congelacion*, cuando los segundo recobran este estado se dice que se *fijan* ó se *solidifican*. Los líquidos que se congelan deben presentar fenómenos inversos de los que presentan los sólidos que pasan al estado líquido, y han de sucederse precisamente estos dos estados á una misma temperatura; por ejemplo el hielo empieza á derretirse á 0°, y el agua empieza á

helarse al mismo grado. Con todas las circunstancias hay en que un cuerpo líquido puede enfriarse á algunos grados bajo la temperatura en que empezaria á derretirse si fuese sólida, sin que por esto se hiele.

SILV. — Decís unas cosas que á primera vista siempre me repugnan, ya sé que no las diriais si no tuvierais sobre la marcha un experimento en que apoyarlo.

EUG. — Gustariame presenciar este experimento.

TEOD. — Os lo diré, aunque no lo haga : poned agua bien clara y privada de aire en un cuarto que se halle á una temperatura de 6° bajo cero, dejadla en reposo : esta agua se enfriará poco á poco hasta tener la misma temperatura que el cuarto; y con todo no se formará la menor cantidad de hielo. Pero notad que si haceis vibrar el vaso de vidrio que contiene el agua, ó tremolar la mesa en que está el vaso, se formará de repente una cantidad de hielo y el agua líquida se hallará á 0°.

EUG. — ¡Qué cosa tan rara!

TEOD. — Gay-Lussac, otro de los químicos actuales de la Francia, ha logrado hacer bajar la temperatura del agua hasta once grados bajo cero, cubriéndola con una capa sin que se helase tampoco aquel líquido. Mas advertid que si el agua es turbia, contiene aire ó está agitada, se hiela al término ordinario que es á 0°. Este experimento puede probar que si el hielo absorbe 75° de calórico para derretirse ; puesto que el agua derretida está á 0°, pierde de esta igual cantidad de calórico que se desprende en el acto. Hase observado en efecto que bajando la

temperatura del agua á 5°, 5 bajo cero se forma cerca de $\frac{1}{7}$ de hielo en la masa de agua, y al mismo tiempo toda la masa de agua se calienta desde 5°, 5 hasta cero, lo que prueba que de la $\frac{1}{7}$ de hielo se desprende bastante calórico para calentar el agua de 8° 8.

EUG. — Si no os molesta, Teodosio, quisiera que me esplicaseis la formacion del hielo, porque se hielan los estanques y los rios, y si es verdad que hasta se hiela el mar en algunos puntos de la tierra.

TEOD. — Habeis tocado un punto interesante, y por lo tanto voy á deciros cuanto pueda escitar vuestra curiosidad. Como se necesitan grandes sustracciones de calórico para que el agua pase del estado líquido al estado sólido, el agua no se hiela de repente toda de arriba abajo sino por capas. El agua empieza por perder una porcion de su calor, pues este se escapa para irse á poner en equilibrio con la atmósfera. Si esta pérdida continua, que en otros términos podriamos decir, si continua el frio, la parte superior del agua, espuesta á su accion, pasa al estado sólido, al principio en forma de una telilla de hielo que se queda en la parte superior por ser mas ligera. Con la ausencia del calórico el líquido se hace mas denso, y experimenta una disminucion de volumen, de lo que resulta que esta primera telilla ó capa se queda suspendida algunas pulgadas encima de las capas inferiores. Mas si la superficie es muy estensa como la de un estanque, arrastrado el hielo por su propio peso, cede y cae debajo la capa de agua que sigue ; esta se hiela á su vez y aumenta el espesor del hielo, y así sucesivamente

hasta que es bastante fuerte para sostenerse encima, ordinariamente sigue el hielo el movimiento del agua y se coloca en su superficie. A medida que el frio se prolonga, se añaden nuevas capas y se forman costras de hielo sumamente gruesas. Advertid, como ya lo he indicado mas arriba, que no todas las aguas se hielan á iguales grados de temperatura; el agua dulce y pura se hiela mas fácilmente que la del mar y de los rios, aun dejando aparte el movimiento de estos; el agua del mar y de los rios contiene sales que le hacen suportar un frio mas fuerte sin que se hiele. Segun el frio el hielo toma formas diferentes: si el frio no es mas que algunos grados bajo cero, la congelacion del agua es una verdadera cristalización que presenta agujas entre cruzadas, formando ángulos mas ó menos abiertos. A una temperatura mas baja, el agua forma una masa informe llena de burbujas de aire; su superficie es áspera, cuando en el momento de helarse hace viento, que arruga la superficie del agua; cuando el agua está tranquila la superficie del hielo suele ser lisa como el vidrio. El hielo pesa como os he dicho menos que el agua líquida, á causa del aumento de volumen que le hace tomar el nuevo arreglo ó disposicion de sus moléculas. Los conductos de las fuentes que rebientan las piedras, las rocas, los árboles que se hienden ó estallan, el suelo ó losas que se levantan son otros tantos efectos de la dilatibilidad ó expansibilidad que adquiere el agua pasando al estado de hielo. Os he dicho que á medida que el frio aumenta, aumenta el espesor del hielo; mas tambien aumenta su densidad, la

cual puede ser tanta que se reduce á un polvo fino como arena. En Rusia y en la Laponia, países muy cercanos al polo, el hielo tiene muchos pies de profundidad, y dicen los viageros que han hallado en los mares del sud y del polo septentrional montañas de hielo de centenares de pies de altura.

EUG. — Yo he oido decir cosas prodigiosas sobre la dureza del hielo, pero hasta ahora lo he tenido por fábula.

TEOD. — Pues sabed que es la pura verdad lo que se cuenta de esta dureza. En los climas del norte, en Spitzberg, en la Groenlandia, en Islanda, lo mismo que en el mar del Sud, vecino al polo austral, son los hielos tan duros que ni se pueden pellizcar sino difícilmente á martillazos. Por esto habeis de calcular cuan grande es la fuerza del calórico, puesto que él vence esta cohesion de las moléculas del hielo, sin ninguna dificultad. Os voy á contar un hecho histórico que pasó en Rusia por los años de 1740. El invierno fué muy rigoroso, y duró el frio mas de lo que acostumbra en aquel áspero clima, y para ocupar á los jornaleros imaginaron construir un palacio de hielo. Fueron á sacar grandes pedazos de hielo del rio Neva cerca del cual está edificada la ciudad, y construyeron, segun las reglas de la mas elegante arquitectura, un edificio que tenia 52 pies de largo, 16 de ancho y 20 de alto. Tenian las paredes de este singular palacio tres pies de grueso en el suelo y dos en la parte superior: delante del edificio colocaron seis cañones de hielo tambien, montados sobre cureñas de lo mismo, y dos morteros de igual calibre que los que se hacen de metal.

Cargáronlos con cerca una libra de pólvora; que es casi la cuarta parte de lo que se pone en las piezas de bronce, y se dispararon: la detonacion fué fuertísima, las balas atravesaron una plancha, ó tabla de dos pulgadas de grueso á la distancia de sesenta pasos, y las piezas se quedaron intactas: ninguna rebentó, siendo así que apenas tenian cuatro pulgadas de grueso.

EUG.— Ya habia oido contar una cosa igual, y no lo creia, por parecerme imposible; mas ahora que me lo decís y que tengo algunos conocimientos de fisica, lo comprendo fácilmente. Pero, decidme ahora por que en tanto que el agua de los estanques está helada corre líquida todavía el agua de los rios: puesto que el frio puede helar la una, ¿por que no hiela la otra?

TEOD.— El agua que corre siempre tarda mas á helarse que la que está tranquila, sea porque la movilidad continua de las moléculas desprenda por el roce una cantidad de calórico suficiente para tenerlas separadas, sea que la atraccion molecular no pueda ejercerse naturalmente mas que en un agua tranquila; sea en fin que la agitacion, el desalojamiento de las partes acueas abran paso facil al calórico de las capas inferiores, el cual como serenueva de esta suerte en la superficie del agua compensa, durante algun tiempo, la pérdida que el frio atmosférico ocasiona. Sin embargo esto no quita que el agua corriente se hiele al fin tanto mas pronta cuanto menos profundidad tenga la corriente. Por lo que toca á los rios de alguna consideracion, he aquí lo que sucede. Despues de algunos dias de

un frio intenso, las partes mas sosegadas, por ejemplo las que forman golfos en las riberas, ceden á la accion del frio y se hielan: una vez helados sirven como de núcleo, ó de centro, en cuyo torno vienen á arreglarse nuevas moléculas. De esta manera se forma ordinariamente el hielo en los rios poco rápidos. Los que son mas rápidos se hielan de otro modo. Habeis observado sin duda mas de una vez que se forman en ciertos puntos de una corriente de rio una especie de remolinos que duran unos cuantos segundos y luego desaparecen. En el momento que desaparecen estos remolinos las moléculas de agua que lo formaban son arrastradas un momento sin mudar de puesto entre sí, esto es, se quedan en reposo relativo. Este momento basta para que la accion de un frio intenso, en especial cuando el agua se halla ya sobradamente enfriada, la haga pasar al estado sólido, y quede formado un nucleo de hielo en torno del cual se irán reuniendo sucesivamente nuevas moléculas pasadas al estado sólido. A veces es una hoja de arbol, un palillo ú otro cuerpe ligero en cuyo torno se empiezan á helar las moléculas del agua. Y como este efecto se verifica en muchos puntos resulta la formacion simultánea de muchos témpanos ó carámbanos que van bajando arrastrados por la corriente. Su forma es en general redondeada ya porque crecen circularmente ya porque con el roce se gastan los ángulos que se formen. Si el frio continua, formándose mas témpanos y mayores ya acaban por llenar toda la superficie del rio, porque el encuentro de los puentes, que rompen algunas veces como suce-

dió en París por los años de 1408, cuando deshelo, el de los molinos ú otros edificios presenta obstáculos á su curso, y no hacen sino engrosarse y reunirse en una masa compacta. De esta manera se forma en los rios del norte una capa de hielo desigual en su superficie, pero bastante sólida para suportar pesos prodigiosos. Para formarse témpanos basta un frio de 6 grados : mientras que para detenerse los rios, como sucede en Rusia, se necesitan 50 grados bajo cero.

EUG. — ¿Y el deshielo qué viene á ser? Por lo que va dicho ya casi me atreveria á explicarlo, pues me parece que ha de consistir en que mientras la temperatura del aire sube el calórico tiende á ponerse en equilibrio con el hielo y lo derrite, mas no acabo de entender como se verifica esta subida de temperatura.

TEOD. — Por lo comun, es el viento del medio-dia y del oeste el que produce el deshielo. El viento seco y violento, que por lo comun sostiene el hielo, cede el lugar á un viento suave y casi insensible; estos vientos casi siempre traen consigo vapores de que se cargan atravesando el mar. Como llegan al pais del hielo y encuentran allí un aire fresco, abandonan una porcion de sus vapores por la condensacion de estos, y por esto suele formarse antes del deshielo alguna niebla; y hay una humedad notable que se manifiesta en todas partes, formándose en todos los cuerpos escarcha, porque el calórico del vapor le abandona para pasar á estos cuerpos que se hallan frios, y el vapor se vuelve agua helada. Este mismo calórico, y el que el sol envia, disuelven

bien pronto capa por capa el hielo, hasta que todo viene á quedar como antes. Y como para que se verifique este deshielo se necesitan grandes cantidades de calórico que se sustraen al aire y los cuerpos contenidos en él, esto os esplicará porque sentimos mas frio cuando deshiela que cuando todo está helado. El aire cede su calórico al hielo, nosotros lo cedemos al aire, y por lo tanto sentimos frio; por la misma razon cuando deshiela son mas frios los aposentos que las plazas y las calles. La razon es clara. El aire húmedo es menos pesado que el aire seco, y, lo vereis á su lugar, el aire exterior, esto es, el de las calles y plazas está lleno de vapores; por lo tanto ha de entrar difícilmente en los aposentos que estan llenos de aire seco, el cual lo es tanto mas cuanto mas intenso ha sido el frio y cuanto mas fuego se haya hecho en el interior de las casas para calentarse. Así lo mejor que puede hacerse en este caso es abrir bien los aposentos y renovar el aire.

EUG. — He oido decir tambien que el hielo de los rios y estanques, cuando va á deshelar, estalla con ruido; ¿es esto cierto?

TEOD. — Cierto y muy cierto: la fuerza del calórico penetra el hielo para disolverle; aumenta su volumen y le ablandece; por otra parte, el agua que está debajo que se habia condensado, se dilata y levanta la costra de hielo; y si añadís las aguas que manan con el derretimiento de las nieves, comprendereis muy bien como pueden estallar las masas de hielo haciendo ruido, como lo hace todo sólido que se quiebra con violencia. Pongamos fin á este punto, que bastante hemos dicho, y veamos ya como se

convierten en vapores los líquidos. Muchos son los cuerpos naturales que parecen susceptibles de pasar al estado de vapor por la adición de una cantidad suficiente de calórico. La mayor parte de los que son ordinariamente sólidos empiezan por pasar al estado líquido, antes de evaporarse: con todo algunas excepciones hay á esta regla, de suerte que ciertos cuerpos sólidos pueden pasar de un salto, desde el estado sólido al gaseoso; de estos puede decirse que son mas volátiles que fusibles. Los líquidos que lo son á temperaturas ordinarias, como el agua, el alcohol, etc., son susceptibles de reducirse á vapores en casos y con circunstancias muy análogas á las en que un cuerpo sólido se vuelve líquido, esto es, que cada uno de estos cuerpos se reduce á una temperatura fija, que esta reduccion se opera sucesivamente, á medida que se añaden nuevas cantidades de calórico, que el cuerpo no se calienta mas luego que empieza á evaporarse, y que en fin el vapor formado tiene la misma temperatura que el líquido de que procede. Como los cuerpos que se reducen á vapor toman de repente un volumen infinitamente mas considerable que su volumen primitivo y pueden mezclarse con los fluidos elásticos que constituyen la atmósfera, se sigue que esta atmósfera ó cualquiera otra presión exterior ha de ejercer una influencia muy grande en este cambio de estado, mientras que no ejerce ninguna sobre la liquefacción ni la solidificación. Mas no siempre se reducen á vapor los líquidos de un mismo modo. Aquí estais viendo como hierve este puchero de agua, el humo que sale es agua en vapor; ahí teneis un modo de re-

ducirse á vapor este líquido. Cien veces os habrá sucedido poner un poco de agua en un plato, sobre todo en verano, y al cabo de cierto tiempo el agua ha desaparecido del plato: pues sabed que se ha convertido en vapor y de un modo bien diferente del primero, pues en aquel el agua recibe nuevas cantidades de calórico y se agita violentamente, y en este el agua está tranquila y no recibe mas calórico que el que le da la atmósfera de una manera insensible para nosotros. Al primer modo le llaman los físicos ebullicion ó hervor, al segundo evaporacion espontánea. Y por si acaso os cae algun libro en las manos que trate de esta materia, sabed que algunos físicos llaman evaporacion la reduccion á vapor de un líquido bajo la presión atmosférica y sin fuego, mientras que dan el nombre de vaporizacion á la conversion de un líquido en vapor por medio del hervor ó en el vacío.

EUG. — Haceis bien en advertírmelo; pero entre tanto esplicadme el hervor de un líquido ó la ebullicion: el hervir el agua es uno de los fenómenos mas vulgares y con todo no sé todavía su mecanismo ni su razon.

§ VI.

De la ebullicion y evaporacion.

TEOD. — Puesto que lo estais viendo y que como habeis dicho es un fenómeno tan vulgar, ocioso es que os describa la ebullicion; mas importa mucho ad-