materia, posteriores al suplemento al libro 10º. de la *Mecánica Celeste* de *Laplace*, son una de M. *Gauss*, impresa en Gottinga año de 1830 con el título de *Principia generalia theoriæ figuræ fluidorum in statu equilibrii*; y otra de Mr. *Poisson* impresa en 1831 con el título de *Nueva Teoría de la Accion capilar*. En ambas se hace uso de integrales cuádruplas y quíntuplas, y en la primera hasta de integrales séstuplas. Lo cual confirma la utilidad é importancia de cultivar el *Cálculo infinitesimal*; pues únicamente por los resultados de la Capilarologia se puede esplicar satisfactoriamente el ascenso de la savia en los vegetales, como hemos esplicado en nuestro *Tratado sobre el movimiento y aplicaciones de las aguas*.

PIROLOGIA.

433. *Pirología* es la ciencia que trata del *fuego* ó del *calórico*, y de las modificaciones que por él sufren los cuerpos.

Si fijamos nuestra atencion sobre el conjunto de fenómenos físicos y químicos que se nos presentan, echarémos de ver que el agente mas poderoso, el mas activo y el que se empléa mas generalmente en la naturaleza y en las artes, es el fuego. Nosotros sentimos á cada instante los efectos que produce sobre nuestros órganos; sea cuando nos quema por un ardor demasiado grande, sea cuando nos calienta suavemente en los rigores del invierno. Él calienta todas las sustancias, y si no las abrasa, las funde, las vuelve líquidas, las hace enrojecer, hervir, y las obliga á convertirse en vapores. Aun cuando parece que obra con menos energía, él estiende las dimensiones de los cuerpos, muda su volúmen, y los modifica sin cesar en sus propiedades mas ocultas.

434. Aunque la palabra *fuego* lleva consigo la idéa de *llama* y de *luz*, sin embargo, no es difícil concebir que todos los fenómenos que acabamos de describir, se pueden producir sin el concurso de estas dos circunstancias; porque si se funde plomo en una vasija de hierro por medio del fuego, este plomo que no estará inflamado y que no arrojará luz, vendrá á ser capaz de calentar otros cuerpos; hará fundir el hielo, el azufre y el estaño; inflamará la cera, hará hervir el agua y todos los otros líquidos, y los convertirá en vapor. Y pues que en este caso obra sobre estos cuerpos sin llama ni luz, podemos por medio de la abstraccion separar estas dos modificaciones del principio, cualquiera que él sea, que produce todos estos efectos; y para fijar invariablemente esta separacion, para designar aisladamente este principio, se le da el nombre particular de *calórico*.

435. Esto nos conduce á observar que la palabra *calor*, en la cual se comprende ordinariamente la idéa vaga de una causa, no espresa realmente sinó la sensacion que el calórico produce sobre nuestros órganos, y por estension la que produce sobre órganos mas resistentes, ó aun sobre cuerpos no organizados.

Las propiedades mas generales del calor son las siguientes: 1ª *El calor emana de los diferentes cuerpos en forma de rayos, y penetra en los otros cuerpos que tienen menos;* 2ª *el calor se refleja, como la luz, formando el ángulo de reflexion igual con el de incidencia;* y 3ª *la intensidad del calor decrece en razon inversa del cuadrado de la distancia.*

436. Todos los cuerpos, que se calientan sin mudar su naturaleza, se estienden en todos los sentidos, de manera que ocupan un volúmen mas considerable que el que ocupaban ántes; esta modificacion de los cuerpos se llama *dilatacion*, y todos los cuerpos, cualquiera que sea su naturaleza, son susceptibles de este efecto.

437. La dilatacion de los cuerpos sólidos, y con particularidad la de los metales, es muy pequeña si no están pró-

ximos al estado en que se funden. La dilatacion de los líquidos y fluidos es mucho mas considerable que la de los cuerpos sólidos en las mismas circunstancias. Midiendo con cuidado las dimensiones de los cuerpos, despues de haberlos espuesto á diversas temperaturas, se halla generalmente que si el fuego no ha alterado su naturaleza, ellos vuelven exactamente á las mismas dimensiones que tenían al principio, cualquiera que sea el número de veces que se le esponga á estas mudanzas alternativas. La arcilla y algunas otras sustancias, parecen al contrario que se contraen cuando se esponen al fuego despues de haberlas humedecido; pero entónces ellas no vuelven á tomar sus primeras dimensiones; lo que manifiesta que su contraccion es el efecto de secarse, ó de una combinacion mas íntima de sus elementos, y no de un efecto pasagero del calor.

438. Esta propiedad que todos los cuerpos poseen de dilatarse por efecto del calor, y de volver á las mismas dimensiones cuando se hallan en las mismas circunstancias, ofrece un medio muy simple y exacto para medir el calor, y es la base en que se funda la construccion de los instrumentos que sirven para este efecto, y que se llaman *termómetros*.

Estos se hacen de aire, de espíritu de vino, de mercurio y metales. El de aire fué el primero que se inventó por *Drebel;* pero fué el mas inexacto, los de espíritu de vino son mas á propósito para las temperaturas bajas, porque tarda mucho en helarse; los de mercurio son los mas adecuados para las temperaturas altas, porque el mercurio tarda mucho en hervir; mas para los grados muy elevados de calor, como los que necesitan los metales para fundirse, se hace uso del de *metal con arcilla.*

Mr. Brongniart, Catedrático de Mineralogía en París, y Director de la Fábrica de porcelana de Sevres, usa de un pirómetro de *platino*, fundado en la dilatabilidad de este metal; y que se llama *pirómetro de Brongniart.*

Todo el artificio de un termómetro de espíritu de vino ó

de mercurio, se reduce, despues de tener el líquido dentro de un tubo con ciertas preparaciones, á introducirle en el hielo al derretirse, y á señalar 0 en este punto para la division que se llama de *Deluc* ó de *Reaumur*, y para el *centígrado:* y para la de *Fahrenheit* 32 en el mismo punto. Despues se coloca el mismo instrumento en el agua hirviendo, y se señala el punto á que sube el líquido; si la distancia ó espacio comprendido entre los dos puntos del hielo y del agua hirviendo, se divide en 80 partes iguales, que se llaman *grados*, se tiene la division de que usó *Reaumur*, y que se conserva todavía con su nombre; dividiendo esta distancia en 100 partes iguales, se tiene la division del termómetro *centígrado;* y dividiendo este espacio en 180 partes iguales, se tiene la division denominada de *Fahrenheit.* En todas las divisiones se señalan por la parte de abajo del hielo partes iguales, y en la division 32 por abajo del hielo se pone 0 en la de *Fahrenheit*, porque este punto fijo corresponde al frio producido por una mezcla de sal marina y nieve. El termómetro metálico de *Wedgwood* se reduce á una plancha de metal que tiene una canal cuya base es trapecial: se pone un cilindro de arcilla dentro de un crisol en el horno ó parage, cuya temperatura elevada se quiere observar; se introduce por el parage mas ancho de la canal; y como segun haya sufrido mas calor se habrá contraido mas, bajará mas en la canal y señalará mayor grado de calor. Todas estas dimensiones se reducen con facilidad las unas á las otras, observando que *cinco grados del termómetro centígrado equivalen á cuatro del de Reaumur*, y *á nueve del de Fahrenheit.* En el *pirómetro* de *Wedgwood* cada grado equivale á 72 del termómetro centígrado, y el 0 de dicho pirómetro corresponde al grado 598 del centígrado.

Mr. *Bunten*, célebre constructor de instrumentos de Matemáticas y Física en París, (*Quai Pelletier* nº 26) hace termómetros que indican la mas alta y la mas baja temperatura en ausencia del que necesita hacer estas observaciones: dichos instrumentos se llaman *termometrógrafos*, y los

que construye verticalmente son en mi concepto preferibles á los horizontales.

439. Se debe poner el mayor cuidado en la preparacion y graduacion de los termómetros; y ninguna precaucion estará demas para construir un instrumento, que aunque pequeño y de poca importancia en la apariencia, es de la mayor utilidad para los progresos de las ciencias naturales y exactas. Las indicaciones que nos da, son la base de toda la teoría del calor; él es el regulador de todas las operaciones químicas; el Astrónomo le consúlta á cada instante en sus observaciones, para calcular el desvío que los rayos luminosos, emanados de los astros, sufren atravesando la atmósfera que los rompe, y los encurva mas ó menos segun su temperatura. Al termómetro se debe todo lo que se sabe sobre el calor animal, producido y mantenido por la respiracion; él es el que fija en cada parage la temperatura media de la tierra y del clima; el que nos manifiesta el calor terrestre, que es constante en cada parage, y va disminuyendo de intensidad desde el ecuador hasta los polos, que permanecen constantemente helados; él tambien nos enseña que el calor decrece, á medida que uno se eleva en la atmósfera hácia la region de las nieves perpetuas, ó cuando uno se sumerge en los abismos de los mares; de donde resultan las mudanzas progresivas de la vegetacion á diversas alturas.

440. El calórico puede existir de dos modos en los cuerpos: ó combinado con ellos, en cuyo caso no causa efecto sobre el termómetro y se llama *latente;* ó *libre*, que es cuando se puede trasmitir á otros cuerpos, y causa efecto sobre el termómetro y sobre nuestros órganos. Para dar á conocer estas dos especies de calórico, supongamos que se tenga una libra de agua á 60 grados de *Reaumur* ó 75 del centígrado, y que se mezcle con otra libra de hielo á 0 grados, en este caso la esperiencia manifiesta que resultan dos libras de agua á la temperatura de 0 grados; de manera que aquellos 60 ó 75 grados de la libra de agua, se han gastado en fundir la libra de hielo y tenerla en estado de

liquidez; al calor que necesita para esto una libra de hielo, que es 60 grados de la division de *Reaumur* ó 75 grados del centígrado, es á lo que se llama *calórico latente;* y al calor que se hallaba en la libra de agua que se hacía sensible al termómetro y á nuestros órganos, y que la ha abandonado para combinarse con el hielo, es á lo que se llama *calórico libre.*

441. Los primeros ensayos de *Lavoisier* y *Laplace*, que son los Sabios que con mas acierto se han ocupado sobre la dilatacion de los sólidos, les dieron á conocer: 1º *que un cuerpo que ha sido calentado desde el término de la congelacion hasta el del agua hirviendo, y que se ha enfriado despues desde el agua hirviendo hasta la congelacion, vuelve á tomar rigorosamente las mismas dimensiones.* 2º *Que el vidrio y los metales sufren dilataciones sensiblemente proporcionales á la del mercurio;* de modo que *un número duplo de grados del termómetro da una dilatacion doble; un número de grados triplo, una dilatacion tripla, etc.*

El vidrio es tanto menos dilatable cuanto menos plomo contiene. La dilatabilidad del hierro varía mucho, segun los diferentes estados en que se halla; lo que confirma que el hierro que se empléa en las artes, no es un metal absolutamente idéntico. El estaño de las Indias es mucho mas dilatable que el de Cornouailles, y por consiguiente estas dos sustancias metálicas no son las mismas; el plomo es el mas dilatable de todos los metales. Para saber todos estos grados de dilatabilidad, sirve la siguiente

Tabla de las dilataciones lineales del vidrio y de los metales, en virtud de los esperimentos hechos en 1782 por Laplace y Lavoisier.

Una regla cuya longitud es 1,00000000 á la temperatura de la congelacion, toma por cada grado del termómetro centígrado la. . . . . longitud

Vidrio de Saint-Gobain.	1,00000891

Tubo de vidrio sin plomo.	1,00000897
Flint-glass inglés.	1,00000812
Vidrio de Francia con plomo.	1,00000872
Cobre	1,00001717
Laton.	1,00001879
Hierro dulce forjado.	1,00001220
Hierro fundido pasado por la hilera. . .	1,00001255
Acero no templado.	1,00001079
Acero templado amarillo recocido hasta 30°.	1,00001378
Acero templado amarillo recocido hasta 65°.	1,00001239
Plomo.	1,00002848
Estaño de las Indias ó de Malaca. . . .	1,00001938
Estaño de Falmouth.	1,00002173
Plata de copela.	1,00001909
Plata de ley de París.	1,00001908
Oro de apartado.	1,00001466
Oro de ley de París no recocido. . . .	1,00001552
Oro de ley de París recocido.	1,00001514
Platina segun Borda.	1,00000857

El mercurio se dilata $\frac{1}{5412}$ de su volúmen tomado á 0° por cada grado del termómetro centígrado. Segun los últimos esperimentos de MMrs. *Petit* y *Dulong* esta dilatacion es $\frac{1}{5550}$.

442. El conocimiento de la dilatacion de los cuerpos sólidos, y con particularidad de los metales, es sumamente útil en una infinidad de circunstancias que interesan á las Ciencias y á las Artes. Ahora vamos á manifestar el modo de determinar la dilatacion de la capacidad de una vasija, solo por el conocimiento de la dilatacion de una de sus dimensiones: y vamos á demostrar, que *si la dilatacion lineal está espresada por* D *entre las temperaturas que se observan, la dilatacion para la unidad de volúmen entre estas mismas temperaturas, estará espresada por* 3D; de manera, que si V es el volúmen de la vasija, tomado á la temperatura mas baja, su volúmen á la temperatura mas elevada será V (1 + 3D).

En efecto, supongamos que V esprese un volúmen cualquiera homogéneo, que dilatándose por el calor se convierta en V'; él conservará una forma semejante en estos dos estados; y como los volúmenes de los cuerpos semejantes son (I. 435, esc. 2°) como los cubos de los lados homólogos, si espresamos por l y l' estos lados, tendrémos $V':V::l'^3:l^3$,

que da (I. § 183) $V'-V:V::l'^3-l^3:l^3$;

de donde $\frac{V'-V}{V}=\frac{l'^3-l^3}{l^3}=\frac{(l'-l)(l'^2+2ll'+l'^2)}{l^3}$.

Espresando por D la dilatacion $l'-l$, será $l'=l+D$; y sustituyendo este valor, y haciendo las reducciones convenientes será $\frac{V'-V}{V}=\frac{D(3l^2+3lD+D^2}{l^3}$.

Si la dilatacion D es muy pequeña en comparacion de l, como se verifica en todos los cuerpos sólidos, observados á temperaturas que distan mucho de su punto de fusion, la dilatacion $V'-V$ será tambien muy pequeña en comparacion de V; á causa del factor D que multiplica su valor en el segundo miembro de la ecuacion. Luego tendrémos un valor bastante aproximado, y del cual podrémos hacer uso en la mayor parte de los casos, tomando solo el primer término de los que hay dentro del paréntesis, y resultará

$$\frac{V'-V}{V}=\frac{D\times 3l^2}{l^3}=\frac{3D}{l}=3\times\frac{D}{l}.$$

Pero $\frac{V'-V}{V}$ es la dilatacior cúbica para la unidad lineal; luego se verifica que la dilatacion cúbica es tripla de la lineal, que está representada por $\frac{D}{l}$.

Despejando V' en la ecuacion anterior, y poniendo $l'-l$ en vez de D, resulta $V'=V\left(1+3\times\frac{l'-l}{l}\right)$.

Pero en los cuerpos sólidos, mientras la temperatura se

halle comprendida entre el hielo y el agua hirviendo, la dilatacion lineal $l'-l$ se puede reputar proporcional al número de grados del termómetro contados desde cero. Luego si espresamos por V el volúmen del cuerpo á 0^0, por t el número de grados que se eleva la temperatura sobre este punto, y por k la dilatacion lineal para un grado, tendrémos que kt será la dilatacion lineal para el número t de grados. Luego se tendrá $V'=V(1+3kt)$,
ó simplemente $V'=V(1+Kt)$, haciendo $K=3k$.

443. Si no se conociese el volúmen primitivo V, se podría deducir de estas fórmulas cuando se hubiese observado el de V'; y se podría tambien encontrar la dilatacion que corresponde partiendo de otro cualquier volúmen. Porque representando por V' y V'' los volúmenes correspondientes á dos temperaturas t' y t'', se tendria igualmente

$$V'=V(1+Kt'),V''=V(1+Kt''),$$

siendo siempre V el volúmen primitivo á 0^0; eliminando V, se tiene $V''=\frac{V'(1+Kt'')}{1+Kt'}$;

espresion que, efectuando la division indicada, se puede poner bajo esta forma $V''=V'\left(1+\frac{K(t''-t')}{1+Kt'}\right)$.

Pero todos los cálculos, que acabamos de hacer, suponen que la dilatacion cúbica K es bastante pequeña para que nos podamos limitar á la primera potencia de la fraccion que la espresa.

Luego debemos aun conservar aquí el mismo órden de aproximacion, es decir, no tener en consideracion el término Kt' del denominador de la fraccion: lo que dará

$$V''=V'(1+K(t''-t')),$$

que es el mismo resultado que si la dilatacion se contase partiendo de la temperatura t' y del volúmen V', siempre con el mismo coeficiente.

Si quisiésemos valores mas aproximados, despreciaríamos solo el último término, en la espresion del (§ 442), ó no despreciaríamos ninguno de ellos; pero hasta el dia no se conoce ningun cuerpo que exija tanta aproximacion.

444. Por medio de la dilatacion de los diversos metales, se ha podido conseguir el que las péndolas de los relojes conserven la forma necesaria para que las oscilaciones sean iguales, cualquiera que sea la variacion de temperatura.

En efecto, cuando la varilla de una péndola se dilata por el calor, el péndulo es mas largo y las oscilaciones son (375) mas lentas; y sucede lo contrario cuando la temperatura baja. Para evitar este inconveniente se hace que las varillas se compongan de barras de diversos metales, por ejemplo, de cobre, acero, hierro, laton, platina, oro y plata, de los cuales los mas usuales son el hierro y el laton; y todos estos aparatos, que se llaman *compensadores*, se reducen en última análisis á hacer que suba una parte del peso del sistema, cuando la varilla se alarga, y á bajarle cuando se acorta; de suerte y en tal proporcion que estos efectos contrarios se compensen exactamente.

445. La dilatacion de los líquidos sigue la misma ley que la de los cuerpos sólidos y fluidos, al menos miéntras no se acerquen al punto de hervir ó de congelarse.

El agua, que es el líquido cuya dilatacion se ha estudiado mas, no se condensa uniformemente al acercarse á la congelacion. Su contraccion disminuye para cada grado, á medida que la temperatura desciende hácia el término 4^0 del termómetro centígrado. Mas abajo de este límite, si la temperatura baja, el volúmen del agua permanece algun tiempo constante, y despues se dilata en vez de contraerse. Luego hay un punto en que el volúmen del agua es menor que á cualquier otra temperatura; y entónces es cuando su densidad es mayor, es decir, que tiene mas masa bajo el mismo volúmen.

446. Hay sustancias que se dilatan al congelarse como el agua; tales son el hierro fundido, el bismuto, el antimo-

nio, y el azufre; otras al contrario se contraen cuando pasan al estado sólido, como son el mercurio y el aceite de olivo, que al congelarse se contraen considerablemente. El mercurio congelado tiene todos los caracteres de un verdadero metal sólido, se estiende bajo el martillo, y se parece en todo á una plata de bajilla que ha servido mucho tiempo.

El alcool se dilata 0,1254852 de su volúmen desde 0° hasta 80° del termómetro de *Reaumur*, ó 100 grados del centigrado. La dilatacion del agua en los mismos límites es 0,046601 de su volúmen á 0 grados.

447. Generalizando estas idéas podemos establecer que no existe realmente *estado natural* de los cuerpos. La liquidez, la solidez, el estado de vapores, el estado aeriforme, no son sinó accidentes ocasionados por la mayor ó menor temperatura. De manera, que si nuestro planeta se alejase del sol, los líquidos y los gases podrían pasar al estado sólido; y si se acercase, podría suceder que los cuerpos mas sólidos se redujeran á líquidos, y aun á gases. Luego el principio del calor, de cualquier naturaleza que sea, separa las moléculas de los cuerpos cuando aumenta su energía, y las deja aproximar cuando se debilita. Estendiendo esta idéa se ha concluido generalmente que este principio era la fuerza que mantenía las moléculas de los cuerpos en equilibrio contra el esfuerzo de su atraccion recíproca, que tiene una contínua tendencia á unirlas; de modo que los cuerpos se pueden considerar como un conjunto de pequeñas partículas, que se hallan continuamente en equilibrio entre dos fuerzas, á saber: la atraccion, que trata de reunirlas, y un principio repulsivo, que será, si se quiere, el del calor que propende á desunirlas.

El estado sólido tendrá lugar cuando la atraccion sea dominante, y en este caso será necesario que la energía de principio repulsivo aumente para que las partes se desunan. Si esto sucede, llegará un término en que estas dos fuerzas serán iguales, y este será el estado líquido; en fin, si el

principio repulsivo aumenta todavía, separará las moléculas materiales á tal punto, que sus atracciones mútuas dejarán de ser sensibles á la distancia en que se hallan colocadas; y entónces el cuerpo pasará al estado gaseoso.

Cada cuerpo muda de estado á una temperatura particular; así es, que el azufre toma el estado líquido á 109 grados del termómetro centígrado, y pasa al estado de vapor á los 300 grados del mismo termómetro; el hielo se funde á 0 grados, y se convierte en vapor á los 100 grados; la fusion del mercurio se verifica á—40 grados, y su trasformacion en vapor á los 360; etc.

448. Para acumular en un punto una cantidad de calórico muy grande, se hace uso de un instrumento que se llama *soplete*, que es muy útil para los plateros, los mineralogistas, etc.; y ahora se acaba de inventar y perfeccionar un nuevo soplete, por el cual se funden casi instantáneamente la platina y todas las sustancias que hasta el dia no se podían fundir. Se reduce á condensar mucho una mezcla de siete partes de hidrógeno y tres de oxígeno, y hacer que salga por un tubo capilar, y encendiendo dicha corriente, y dirigiéndola á cualquier sustancia, se consigue inmediatamente su fusion.

Lo que en general llamamos *frio*, no viene á ser otra cosa, que *falta de calor*; y como en muchas ocasiones para alivio de ciertas dolencias conviene tomar medicinas frias, y no siempre hay nieve á la mano, pondrémos aquí dos medios de producir artificialmente un gran frio sin hacer uso de la nieve ni del hielo.

1° *Mezclando partes iguales de nitrate de amoniaco y de agua, se obtiene un frio de* +10° *á*—15°, 6.

2° *Mezclando tres partes de sulfate de sosa cristalizado, con dos partes de ácido nítrico estendido, producen un frio de* +10° *á*—16°, 11.

Capacidad de los cuerpos para el calórico.

449. En todo lo que hemos dicho sobre la propagacion y