

dia no tenía mas que 4 grados de luz á las ocho de la mañana, 10 á las nueve, 12 á las diez, y 14 á las once. Despues disminuyó la luz progresivamente hasta 8 grados y 5 décimos en el medio del eclipse, subió á 11 grados á la una y media, á 13 á las dos para volver á bajar en seguida á 9 grados á las tres y á 3 á las cuatro. He hecho este experimento en un horizonte descubierto, cerca de los baluartes.

Dichos grados son los de una escala arbitraria que he aplicado á las tintas progresivas que corresponden á la intensidad de la luz. Suponiendo, por ejemplo, que 20 grados representen la tinta negra, ó el máximo de intensidad, y 0 la oscuridad completa en la que el papel queda blanco, 1 á 19 representarán suficientemente todos los claro-oscuros intermedios.

De igual modo se aprecia directamente la influencia de la luz en la naturaleza terrestre, segun los años, las estaciones, los dias y las horas, influencia que debe entrar en el estudio de los fenómenos de la vida con el mismo motivo que las indicaciones del termómetro, del higrómetro y del barómetro.

El Observatorio de Montsouris consigna desde su fundacion y por medio de un procedimiento análogo, las variaciones de la luz.

El estudio de la obra de la luz en la atmósfera terrestre, que acabamos de hacer, nos conduce á ocuparnos ahora de otra obra incomparablemente mas poderosa y activa, aunque menos visible; la accion del *calor* solar, es decir, la temperatura, las estaciones y los climas.

## LIBRO TERCERO

### LA TEMPERATURA

#### CAPÍTULO I

##### EL SOL Y SU ACCION EN LA TIERRA

EL CALOR.— EL TERMÓMETRO.— CANTIDAD DE CALOR QUE SE RECIBE DEL SOL.— SU VALOR Y SU EXPLOTACION.— TEMPERATURA DEL SOL.— TEMPERATURA DEL ESPACIO

En nuestro primer Libro hemos contemplado á la Tierra llevada al seno de los espacios por la fuerza misteriosa de la gravitacion universal, girando sobre una órbita distante 38 millones de leguas del astro solar que la sostiene, y sacando de la luz permanente del foco central la conservacion constante de su belleza, de su vida y alegría. Hemos visto á la Atmósfera adherida á toda la redondez del globo como una capa de gas pegada á su superficie, y á todos los seres, grandes ó pequeños, soberbios ó humildes, contruidos con arreglo al tipo de un mismo sistema orgánico, de un sistema respiratorio, en cuyo modo de funcionar estriba la condicion de su vitalidad sobre la superficie de nuestro planeta.

En seguida hemos admirado en nuestro segundo Libro la luz celeste que atraviesa suavemente nuestra Atmósfera y reviste al planeta de vistosas y variadas galas. Hasta

ahora hemos estudiado en cierto modo la forma exterior y los brillantes aspectos de la naturaleza; es tiempo, pues, de pasar al taller donde aquellos se forjan y de apreciar la gran fuerza infatigablemente desplegada, indagando cuál es la que produce las corrientes de la atmósfera, los vientos, las brisas, las tempestades, y hace circular la vida en la esfera habitada. Al paso que la atraccion conduce á la tierra por el espacio y la inclina sobre su eje para proporcionarle estaciones regeneradoras, el calor se presenta para despertar los organismos adormecidos durante la noche del invierno, haciendo cantar á las aves en el bosque; él es el que florece en las rosas y sonríe en la verde pradera; el que murmura en el parlero arrolluelo y suspira en la escarpada ribera del mar; el que hace viajar á los átomos desde la planta al animal, y del hombre al vegetal, y el que establece en la

tierra la inmensa fraternidad de las cosas. Mejor inspirados que los antiguos profetas, que aseguraban que nadie puede saber de dónde viene el viento ni á dónde vá, así como nadie podía decir en qué cimientos reposaba el globo, nosotros descubriremos en una sola fuerza el principio de los vientos y de las brisas, de los nublados y de las tormentas, de las lluvias y de las tempestades, apreciando en toda su magnitud el mecanismo de los movimientos que tienen lugar en la Tierra.

Veamos ante todo cómo se aprecia el calor y su distribución en la superficie del globo.

Para medir las variaciones de temperatura se hace uso del termómetro (*termós*, calor; *métron*, medida), así como se ha inventado, según hemos visto, el barómetro para medir las variaciones de la presión atmosférica. Aun cuando ahora no nos detendremos, como tampoco nos detuvimos al tratar del aparato precedente, en detallar el empleo del termómetro ni en describir sus diferentes clases, es sin embargo interesante indicar algo acerca de su invención, que data asimismo de mediados del siglo XVII.

Los antiguos juzgaban de la temperatura poco más ó menos como lo hacemos actualmente, es decir, por los efectos principales que dependen de ella. Pero hoy la ciencia la mide con más cuidado y de un modo uniforme, por medio de instrumentos especiales que permiten comparar los resultados de un país con los de otro, ó los de una época con los de otra determinada.

Cuando los académicos de Florencia afirmaron que todos los cuerpos cambian de volumen por la influencia del calor, plantearon las bases de la termometría. El instrumento de que aquellos sábios se servían consistía en una esfera A (fig. 97), soldada á un tubo estrecho B, que contenía alcohol coloreado. Cuando se traslada este aparato de un punto á otro más caliente, el líquido se dilata, y se eleva el nivel, indicando de

este modo el aumento de la temperatura.

Dicho aparato data del año 1650. Para que los termómetros fuesen comparables entre sí, es decir, para que en igualdad de circunstancias pudieran dar las mismas indicaciones, los académicos de Florencia los

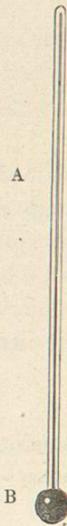


Fig. 97.—EL TERMOMETRO

hicieron todos conformes á un patrón, ó por lo menos tanto como fuese posible. Un físico de Pavia, Carlos Renaldi, fué el primero que en 1694 propuso el medio que todavía se emplea hoy para disponer de termómetros comparables. Este medio consiste en colocar el instrumento en dos condiciones caloríficas invariables y de fácil reproducción, como son las que corresponden á la función del hielo y á la ebullición del agua. Entre ambos límites de temperatura, un mismo cuerpo se dilata siempre con arreglo á igual fracción de su volumen. Márcase comunmente con 0 grados el punto en que el líquido del termómetro se detiene cuando se sumerge en hielo fundente, y con 100° aquel en que queda estacionario cuando se le ha introducido en agua hirviendo; una vez marcados ambos puntos en el tubo, divídese el espacio que los separa en 100 partes iguales, divisiones que se prolongan por arriba y por abajo de los mismos. To-

dos los físicos adoptaron el método empleado por Renaldi para hacer los termómetros comparables, después que Newton demostró claramente la fijeza del punto de ebullición del agua. Tal es el termómetro *centígrado*, el más cómodo y el que se usa con más frecuencia.



Fig. 98.—TERMOMETRO CENTÍGRADO

Hará unos treinta años que Pouillet se dedicó á hacer una serie de experimentos ingeniosos y pacientes para determinar la cantidad de calor enviada á la Tierra por el Sol, así como la temperatura del espacio,—es decir, los dos elementos constitutivos de la que existe en la superficie del globo.

Los aparatos empleados para estas determinaciones fueron el *pirheliómetro* y el *actinómetro*. Como este no sirvió más que para hacer averiguaciones sobre la temperatura del zénit, prescindiremos de su descripción.

En cuanto al *pirheliómetro* se compone esencialmente de un delgado recipiente de plata A (fig. 99) de un decímetro de diámetro, que contiene 100 gramos de agua. Su cara expuesta al sol está cubierta de negro de humo. Fijado al recipiente y encajado en la montura de cobre B, se halla un termómetro. Cuando el agua de aquel está á

la temperatura ambiente, se la expone al sol por espacio de cinco minutos. Para asegurarse de que el recipiente se halla bien perpendicular á los rayos solares, se vé si su sombra cubre exactamente el disco inferior C del mismo diámetro. Comparando su caldeoamiento por la temperatura anterior y posterior á su exposición, se tiene la cantidad de calor recibido del sol en un minuto por cada centímetro cuadrado, siendo esta elevación de temperatura  $t=0,2624$  caloria (1).

Pouillet se ha servido también del *pirheliómetro de lente*.

Teniendo en cuenta los espesores atmosféricos atravesados por los rayos solares, el experimentador ha deducido que el *pirheliómetro* marcaría una elevación de 6°,72 si la *Atmósfera* pudiera transmitir íntegramente todo el calor solar sin absorber nada de él, ó si se pudiera trasladar el aparato á los límites de la *Atmósfera* para recibir allí, sin ninguna pérdida, todo el calor que el Sol nos envía. Este calor, multiplicado por 0,2624, da 1,7633 calorías.

Tal es por consiguiente el calor que el Sol dirige en un minuto sobre un *centímetro cuadrado* en los límites de la *Atmósfera*, y que también comunicaría á la superficie del suelo si el aire atmosférico no absorbiera ninguno de los rayos incidentes.

Merced á este dato y de la ley en virtud de la cual el calor transmitido disminuye á medida que la oblicuidad aumenta, se puede calcular la proporción de calor incidente que llega á cada momento al hemisferio iluminado del globo, y la que queda absor-

(1) Dáse el nombre de *caloria* á la unidad adoptada en la evaluación de las cantidades de calor, del mismo modo que se llama *gramo* la unidad adoptada en la evaluación de los pesos. Una caloria es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un kilogramo de agua, ó también la cantidad de calor emitida por un kilogramo de agua cuya temperatura desciende un grado.—Se llama *kilogrametro* la unidad adoptada en la evaluación del trabajo de las fuerzas; y representa el trabajo necesario para elevar un peso de un kilogramo á la altura de un metro.

bida en la mitad correspondiente de la Atmósfera. El cálculo demuestra que cuando esta se halla al parecer enteramente despejada, absorbe todavía cerca de la mitad de la cantidad total de calor que el Sol emite hácia nosotros, y que solamente la otra mitad de dicho calor es la que llega al suelo,

donde se distribuye diversamente segun las mayores ó menores oblicuidades que ha debido describir al atravesar la cubierta aérea.

Puesto que el Sol, en vista de lo que precede, envía en un minuto á cada metro cuadrado del suelo herido perpendicular-

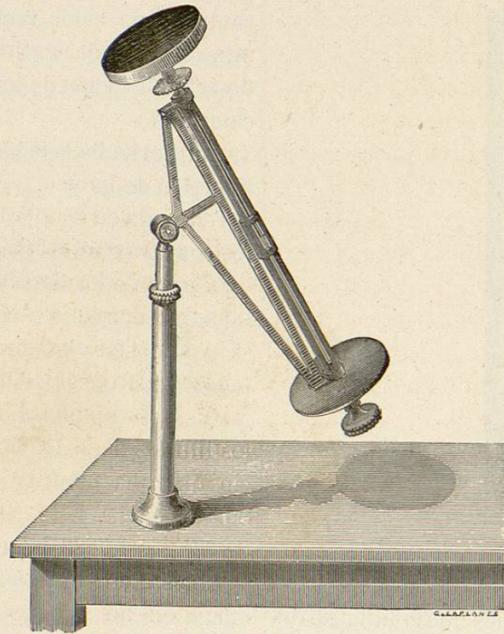


Fig. 99.— EL PIRHELIOMETRO

mente por él una cantidad de calor igual á 17,633 calorías, fáciles de ducir la cantidad total de calor que el globo terrestre y su atmósfera reciben á la vez en un año, que es la recibida por una superficie igual en extension á uno de los círculos máximos de la Tierra, y que consiste en mas de mil doscientos diez trillones de calóricas, ó sea el número 1,210,000,000,000,000,000!

Este calor elevaria si posible fuera á 2,314 grados una capa de agua de un metro de espesor que circundase á toda la Tierra.

Transformando esta cantidad de calor en otra de hielo fundido, se obtiene el resultado siguiente:

Si la cantidad total de calor que la Tierra recibe del Sol en el transcurso de un año estuviese distribuida uniformemente en to-

dos los puntos del globo, y pudiera emplearse sin la menor pérdida en la fusion del hielo, seria capaz de derretir una capa que cubriera el globo entero, y tuviese un espesor de 30 metros 89 centímetros, ó cerca de 31 metros. Tal es la mas simple expresion de la cantidad total de calor que la Tierra recibe cada año del Sol.

Esta asombrosa suma de calor es la que mueve los organismos de la vida terrestre, la que separa el carbono del oxígeno de los vegetales, la que hace crecer los animales, la que suspende los hielos de la cresta de las montañas, la que desencadena las tempestades en los abismos del Océano, en una palabra, la que mantiene la inmensa vida aérea de este planeta.

El mismo dato fundamental nos permite

averiguar la cantidad total de calor que se escapa del gobo entero del sol en un tiempo dado.

Considerando este astro como el centro de un recinto esférico cuyo rádio sea igual á la distancia media que le separa de la Tierra, es evidente que en tan vasto recinto cada metro cuadrado recibirá en un minuto por parte del Sol tanto calor precisamente como el metro cuadrado de la Tierra, es decir, 17,633 calorías; por consiguiente, la cantidad total de calor que recibe es igual á su superficie entera, expresada en metros, y multiplicada por 17,633.

Tambien se puede expresar lo mismo diciendo que el globo terrestre, con sus 3000 leguas de diámetro, no intercepta en esta esfera de 37 millones de leguas de rádio mas que  $\frac{1}{2,300,000,000}$  de la irradiacion total, y que el calor emitido por el Sol es 2,300,000,000 de veces mayor que el que recibe la Tierra.

Este calor total es tal que cada centímetro cuadrado de la superficie solar emite en un minuto 81,888 unidades del mismo.

Trasformando este calor en una cantidad de hielo derretido, se obtiene el resultado siguiente:

Si la cantidad de calor emitida por el Sol se emplease exclusivamente en derretir una capa de hielo que se aplicara sobre el globo mismo del Sol, envolviéndolo por todas partes, seria capaz de fundir en un minuto una capa de 11 metros 80 centímetros de espesor, y en un dia, otra de 17 kilómetros!—Esta misma cantidad de calor elevaria un grado por segundo 13,610 kilogramos de agua, ó haria hervir cada hora 2,900,000,000 de kilómetros cúbicos de agua que estuviese á la temperatura del hielo!—Para oponer á la irradiacion solar una resistencia frigorífica igual, seria preciso enviarle un chorro de agua helada de 18 leguas de diámetro con una velocidad incesante de 77,000 leguas por segundo!

Cada metro cuadrado de la superficie de la Tierra recibe en un año 2,318,157 calo-

rias, mas de 23,000 millones de calorías por hectárea, es decir, 9.852,200,000,000 de kilográmetros. Por consiguiente, al caer sobre una de nuestras hectáreas la irradiacion calorífica del Sol, desarrolla bajo mil diversas formas una fuerza equivalente al trabajo continuo de 4163 caballos de vapor, que equivale en la Tierra entera á un trabajo de 510,000 trillones de kilográmetros ó de 217,316,000,000,000 caballos de vapor.

543 millones de máquinas de vapor de 400 caballos cada una, trabajando dia y noche sin cesar, representarian la fuerza que invierte la irradiacion solar únicamente en nuestro planeta!.....

Una parte de ella se emplea en calentar la corteza terrestre hasta cierta profundidad; pero como el Sol y la Atmósfera irradian en el espacio, y el globo terrestre no parece perder ni ganar bajo el punto de vista de la temperatura media, á lo menos durante largos periodos de años, puede considerarse toda esa parte de la irradiacion del Sol, como destinada á mantener el equilibrio de temperatura en el planeta.

Otra parte se trasforma en movimientos moleculares, en acciones y reacciones químicas, que son el manantial de donde la vida de los vegetales y de los animales saca incesantemente con qué perpetuarse y mantenerse. El calor que en este concepto parece á propósito para dichos seres no es mas que una emanacion del del foco comun. «Bajo este punto de vista, dice Tyndall, somos, no ya en un sentido poético, sino en un sentido puramente mecánico, hijos del Sol.»

La vida terrestre está suspensa de los rayos del Sol. Así como nuestro globo se halla sostenido en el abismo del espacio por la mano poderosa de la atraccion solar, así tambien la vida misma, tanto la vegetal como la animal, que florece en su superficie, se conserva merced á la incommensurable fuerza de la actividad solar. Las religiones antiguas, las primeras poesias que siguieron al despertamiento de la