

La Tierra misma atraviesa de siglo en siglo regiones cuya temperatura varía, llegando Pousson á suponer que el calor puede proceder de allí.

El geómetra Fourier dedujo que la temperatura del espacio en cuyo seno gravita actualmente el sistema planetario era de 50 á 60 grados bajo cero. Como quiera que Arago observara que el termómetro marcaba en el fuerte Reliance —57 grados, dedujo á su vez que la temperatura del espacio es notablemente inferior á esta cifra, colocándola entre —60 y —70.

Pouillet fijaba dicha temperatura en 140 grados bajo cero, en vista de los experimentos hechos con el actinómetro, y, extraña consecuencia, el mismo físico decia que este calor equivale á los $\frac{5}{6}$ del solar y que era bastante para fundir cada año en nuestro globo una capa de hielo de 26 metros.

Ha sido preciso esperar la reciente creación de una de las ramas más fecundas de la física moderna, la *teoría mecánica del calor*, para tener una respuesta matemática sobre un punto tan discutido. Gracias á los principios fijados por esta ciencia, sabemos ahora que el descenso indefinido de la temperatura es una pura ficción, así como que existe un *cero absoluto* en el que desaparece todo calor de los cuerpos, y que este cero para todos los del universo es de 273 grados bajo el hielo fundente.

Supongamos por un momento que la Tierra no esté calentada ni por los rayos solares, ni por ningún otro rayo calorífico, y veamos los fenómenos que de ello resultan.

Todas las moléculas del aire atmosférico irradiarían su calor en todos sentidos y se enfriarían cada vez más, porque no habría nada que reparara sus pérdidas; al aumentar su densidad, caerían sobre la tierra, al paso que se remontarían otras moléculas para ir á enfriarse á su vez.

Al cabo de algunos siglos, todo el calor del globo, tanto el central y primitivo como el superficial y conservado por el Sol, quedaría disipado en el espacio; pero esta disipación sería más ó menos rápida en los diferentes países, según que la superficie del suelo fuese más ó menos radiante y la conductibilidad de las capas inferiores más ó menos perfecta.

Los innumerables astros luminosos que ocupan las diversas regiones del cielo no están desprovistos de calor; y por lo tanto, los espacios celestes tienen cierta temperatura, que debe ser de 273 grados bajo cero, según acabamos de decir, y nuestro globo, suspendido en medio de esos espacios con la Atmósfera por cubierta diatérmica, cesaría de enfriarse cuando se hubiera equilibrado con dicha temperatura.

Pero este «calor» sería un verdadero frío incomparablemente más rudo que todos los de los hielos del polo, y extinguiría hasta sus raíces la vida terrestre.

Así pues, ni la temperatura del espacio, ni la del globo ejercen actualmente una influencia sensible en la superficie de la tierra, siendo el calor solar el que organiza la circulación de los aires, de las aguas, de los elementos, de la vida entera, como vamos á demostrarlo mejor aun en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO II

EL CALOR EN LA ATMÓSFERA

EL TALLER Y LA FUERZA.—EL VAPOR DE AGUA.—FUNCION DE LA ATMÓSFERA EN LA ABSORCION DEL CALOR.—LAS ATMÓSFERAS PLANETARIAS.—DESCENSO DE LA TEMPERATURA Á MEDIDA DE LA ELEVACION

Pasemos ahora á ocuparnos de otro punto importante, cual es el de comprender y apreciar en su justo valor la cantidad de esa inmensa irradiación calorífica emanada incessantemente del foco solar puesta en juego en la Atmósfera, organizando su circulación.

La meteorología no es más que un gran problema de física, puesto que tiende á determinar las leyes que regulan el modo cómo se distribuyen en nuestra atmósfera el calor, la presión barométrica, el vapor de agua y la electricidad, todo ello relacionado con los movimientos que el calor solar engendra en la capa superficial sólida, líquida y gaseosa de nuestro globo. Por vasto que sea este problema, dice el P. Secchi, nuestro ilustre académico correspondiente del Observatorio de Roma, no consiste en el fondo sino en una aplicación de las leyes más conocidas de la física; las dificultades de la solución dependen más bien del gran número de causas perturbadoras y de las reacciones incalculables de los efectos sobre las causas, que de existir un verdadero vacío en la teoría general. De aquí la necesidad de numerosos datos experimentales para llegar á una solución.

La Atmósfera es en realidad una inmensa máquina, á cuya acción se halla subordinado todo cuanto está dotado de vida en nuestro planeta. Aunque esta máquina no tenga ruedas, ni émbolos, ni engranajes, no por eso deja de hacer el trabajo de muchos millones de caballos, trabajo que tiene por objeto y por efecto la conservación de la vida.

Todos los movimientos de la Atmósfera son la consecuencia de la propiedad que tienen los gases de dilatarse por el calor. Estas variaciones de volumen, y por consiguiente de densidad, perturban á cada momento el equilibrio que tendería á establecerse en el aire atmosférico. El aire, caldeado en las zonas ecuatoriales, se eleva hácia las regiones superiores para volver á bajar cerca de los polos; enfriase allí, regresa al ecuador, y empieza de nuevo su movimiento de circulación. El trabajo que de este modo desempeña la Atmósfera es inmenso. Nuestras flotas surcan el mar impelidas por los vientos, y tanto el hábito suave de los céfiros como la furia de los huracanes son el efecto de la potencia solar almacenada en esa gigantesca fábrica de gas.

A esta propiedad del aire hay que agregar otra no menos importante; la de disolver el vapor de agua, que elevándose en prodigiosa cantidad en las inmediaciones del ecuador, se distribuye en seguida por todas las latitudes en forma de lluvia vivificante. De este modo se verifica otro trabajo no menos poderoso y vasto: la distribución de las aguas pluviales en la superficie del globo. Las aguas corrientes que ponen en movimiento á nuestras máquinas han empezado por ser elevadas á los aires por aquel poderoso artificio; desde allí bajan á las montañas en forma de lluvia y corren hácia nuestros rios para morir en fin en el mismo océano de donde han salido. Cuantos han visitado los gigantescos saltos del Niágara conservan un grato recuerdo de ellos, y sin embargo, no son mas que una fracción absolutamente insignificante de lo que pasa un día y otro día en nuestra Atmósfera.

El Sol es el primer motor del que dependen todos los movimientos del sistema planetario, no solo en cuánto á la regularidad de las órbitas que describen los diferentes astros, sino tambien por lo que hace á los fenómenos físicos ó fisiológicos que tienen lugar en su superficie. En la Tierra, sobre todo, los movimientos atmosféricos, el curso de las aguas, el desarrollo de la vegetación y la producción de fuerza que resulta de las combustiones y de la nutrición de los animales, son fenómenos debidos á la influencia de las irradiaciones solares.

La fuerza del Sol es la que, dilatando el aire en ciertas regiones, le eleva en masas considerables, produciendo así un vacío que otras masas gaseosas pasan á llenar rápidamente; de donde resultan esas corrientes atmosféricas y esa poderosa acción del viento que empuja nuestras naves por las olas. La fuerza emanada del Sol es la que eleva las aguas en forma de vapores, dejándolos caer en seguida convertidos en benéfica lluvia destinada á fecundar nuestras campiñas. Al Sol debemos tambien

esos arroyos que apagan nuestra sed, esos rios cuyas aguas ponen en movimiento á nuestras fábricas; por medio del vapor arrebatado al océano, alimenta las nieves que solidifican el agua en la cumbre de las montañas para distribuirla detalladamente y producir el movimiento, la fecundidad, la vida.

Mas lo que puede parecernos mejor organizado todavía, es el modo cómo semejante fuerza calorífica se halla almacenada, por decirlo así, en los vegetales, y no solo en los que, vivos aun, sirven para nuestros usos y nuestra alimentación al mismo tiempo que para el ornato y embellecimiento de nuestra morada terrestre, sino que tambien en los que, sepultados hace muchos millones de años en las entrañas de nuestro globo, salen ahora de él para calentarnos y para producir la fuerza motriz que necesitan nuestras máquinas. Cada planta es una verdadera máquina en donde se elaboran las sustancias eminentemente combustibles que nos facilitan el calor y la luz en ausencia del sol, ó que nos sirven de alimento, produciendo la fuerza y el calor vital de que tanto necesitamos. Por consiguiente, dice el P. Secchi, en último análisis, todos los fenómenos de la naturaleza, y hasta nuestra existencia misma, dependen del Sol.

Lo que desde luego llama la atención en el brillo del Sol es la luz que nos ilumina y el calor que nos calienta; pero, aparte de estas dos clases de fenómenos, hay otro no menos importante, representado por las acciones químicas que acompañan á aquellas. Por consiguiente, hay que distinguir tres órdenes de acciones en la obra solar: la de los rayos *luminosos*, los rayos *caloríficos*, y los rayos *químicos*. Los primeros prestan á la naturaleza las galas de una juventud eterna; los segundos dan al mundo su fuerza y su valor, y los terceros urden la trama, sin cesar renaciente, de la vida planetaria.

Todos saben que para analizar un rayo de sol, se le hace pasar al través de un

prisma triangular de cristal, y que al salir de él, el rayo se descompone en una cinta de colores, segun hemos visto al estudiar el arco-iris. Mas el espectro visible no es lo único que existe en un rayo de sol. La cinta multicolora se continúa, en cada ex-

tremo, por otra invisible. Las ondas, cuya longitud está comprendida entre 768 y 369 millonésimas de milímetro, son capaces de hacer vibrar nuestro nervio óptico; estas vibraciones están á su vez comprendidas en 394 y 758 billones por segundo, produ-

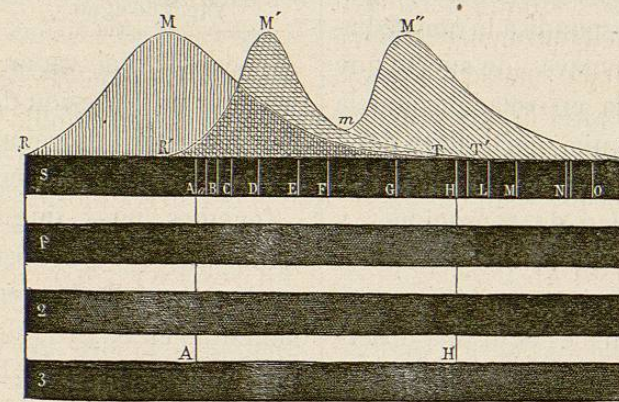


Fig. 100 — INTENSIDAD RELATIVA DE LOS RAYOS SOLARES CALORÍFICOS, LUMINOSOS Y QUÍMICOS

ciendo así la sensación de la luz; la diversidad de los colores solo depende de la longitud de las ondas, las mayores de las cuales se hallan en el rojo, y van decreciendo hasta el violado. A la izquierda del extremo rojo del espectro existen las ondas prolongadas y lentas del calor, y á la derecha del violado las cortas y rápidas de la acción química. Nuestros ojos no ven las primeras ni las segundas, y solo se advierten empleando preparaciones fotogénicas ó sustancias impresionables.

Sin embargo, en realidad no existe en la naturaleza mas que una sola serie de ondas, cuya longitud va decreciendo constantemente desde el extremo del espectro calorífico oscuro hasta el extremo del espectro químico en su parte invisible. Entre los dos, solo se encuentra una porción muy limitada que disfruta de la propiedad de herir nuestro nervio óptico.

La figura 100 representa la extensión y la intensidad relativa de estas diferentes acciones separadas entre sí como nos las presenta la acción dispersiva de los prismas. La zona que forma la base de esta figura indica la longitud del espectro solar. Entre

A y H está comprendida la parte *luminosa*; á la derecha, entre H y P, la parte química *invisible*; y á la izquierda, entre A y S, la parte *calorífica*, tambien *invisible*. Las curvas trazadas por encima dan á conocer las intensidades relativas de cada irradiación en las diferentes partes del espectro. La intensidad de la luz está representada por la curva RMT, la de la acción química por m M'P, y la de las irradiaciones caloríficas por RMT.

Por consiguiente, no vemos todo lo que pasa en la naturaleza. Los rayos luminosos son los únicos que percibimos; los caloríficos y químicos ejercen su respectiva influencia, pero sin que nos sea dado observarlos. Vivimos en medio de un inmenso mundo invisible.

La facultad iluminadora de los diferentes rayos consiste en la aptitud mas ó menos grande que poseen de impresionar el nervio óptico del hombre. Es probable que la facultad de percibir los fenómenos luminosos no sea igual para todos, y que se halle mas extendida en ciertos animales que en el hombre, ya sea por la parte del rojo, ó ya por la del violado. El agua pura posee

un poder absorbente muy considerable para los rayos químicos. Los humores que contiene el ojo difieren poco del agua pura, y esto es lo que hace que el órgano de la vista sea insensible á los rayos caloríficos.

La extension de las ondas luminosas que percibe la vista corresponde á lo que se llama en acústica una octava, de suerte que el hombre no se halla en relacion con la naturaleza sino por una parte muy débil de las irradiaciones solares. Y sin embargo ¡qué inmensa variedad de sensaciones y qué belleza de contrastes! Abstraccion hecha de las consideraciones estéticas, no podemos menos de hacer aquí una observacion importante; por espacio de mucho tiempo se ha creido que la irradiacion luminosa era el único modo de accion del Sol en el mundo, y sin embargo, esta es muy secundaria y poco importante, comparada con las otras. ¿Qué son las impresiones producidas en la materia delicada de nuestra retina si las comparamos con las modificaciones que el calor hace sufrir á todos los cuerpos y con las acciones moleculares á que dan lugar los rayos químicos?

Los gases disfrutan de la propiedad de absorber los rayos *caloríficos*, y por consiguiente nuestra atmósfera absorbe una porcion muy considerable de ellos. Las ondas mas largas son las mas fácilmente absorbidas; así es que queda detenido un gran número de rayos menos refrangibles que van á parar á nuestra atmósfera, sin llegar hasta nosotros.

La absorcion producida por los gases simples, como el oxígeno y nitrógeno, es sumamente débil; si se hace variar la presion desde 5 á 760 milímetros, esta misma absorcion varia casi en la relacion de 1 á 15. No sucede lo mismo con respecto á los gases compuestos que se hallan en nuestra atmósfera, como el ácido carbónico, el vapor de agua, el amoniaco y otros varios. El profesor P. M. Garibaldi, de Génova, ha demostrado, por medio de algu-

nos experimentos, que con una presion de 760 milímetros, dichos gases tienen la facultad absorbente representada por las siguientes cifras:

Aire atmosférico.	1
Ácido carbónico.	92
Amoniaco	546
Vapor de agua	7937

La cantidad de vapor de agua capaz de producir una presion de 9 á 10 milímetros ejerce ya una absorcion cien veces mayor que la del aire atmosférico.

Tenemos, pues, que una porcion considerable de los rayos oscuros salidos del Sol, queda interceptada por el vapor de agua, contenido en el aire, sin que pueda llegar hasta la superficie de la tierra; absorcion mucho mas considerable para los rayos caloríficos que para los luminosos, por cuanto las ondas adquieren, á medida que su longitud disminuye, la propiedad cada vez mayor de atravesar los centros transparentes.

Se pueden separar los rayos luminosos de los caloríficos con objeto de medir su valor respectivo. Para obtener este resultado, se hace pasar un haz de rayos solares al travez de una capa de sulfuro de carbono que contenga iodo en disolucion. Los rayos se vuelven invisibles sin perder su poder calorífico, y si la vasija que contiene dicha disolucion tiene la forma de una lente convergente, se desarrolla en el foco invisible de la misma una temperatura bastante elevada para determinar la inflamacion de los cuerpos combustibles (1). Tratándose del platino incandescente, la relacion de las irradiaciones luminosas con las oscuras es igual á $\frac{13}{320}$. Si se trata del Sol, el calor que acompaña á la parte luminosa es tan solo $\frac{1}{9}$ del que se halla en la parte oscura.

Aun cuando la Atmósfera terrestre absorbe una porcion tan considerable de los ra-

(1) El profesor Tyndall aplicó cierto día un ojo al foco, sin que su retina sufriera ninguna influencia luminosa, y sin embargo, los rayos caloríficos eran tan ardientes, que una hoja de metal se enrojeció inmediatamente en el mismo sitio donde el ojo no habia sentido nada.

yos solares, no por eso los destruye, sino que los conserva para emplearlos mas tarde en provecho nuestro. Obra exactamente lo mismo que *un invernadero*, puesto que deja llegar los rayos caloríficos hasta la Tierra y se opone en seguida á que se vuelvan para perderse en el espacio. Los rayos de ondas muy largas no son capaces de atravesar la Atmósfera, lo cual produce una acumulacion de calor en las capas mas bajas. Además, la presencia del aire atmosférico disminuye la irradiacion nocturna, á consecuencia de lo cual se detiene y decrece el enfriamiento del globo y de las plantas alimentadas por este. El vapor de agua obra con grandísima eficacia, bastando una capa húmeda de pocos metros de espesor para contener el enfriamiento nocturno en la misma proporcion que pudiera hacerlo la Atmósfera entera.

Pero el espectáculo que debe admirarnos mas aquí es el de la absorcion del calor que acompaña á la trasformacion del agua en vapor. Este líquido se evapora en masas considerables, sobre todo en las regiones ecuatoriales, absorbiendo de este modo una gran cantidad de calor de evaporacion que permanece latente. Se necesita tanto calor para evaporar un kilogramo de agua como para calentar un grado 537 kilogramos de dicho líquido. El vapor de agua absorbe tan enorme proporcion de calor, si bien es verdad que lo restituye íntegramente cuando vuelve á pasar al estado líquido convertido en lluvia. Dicho calor se extiende luego hasta las latitudes mas apartadas, estableciendo en la cubierta aérea que rodea al globo una igualdad de temperatura que la irradiacion directa no podria producir por sí misma. Es imposible imaginar la cantidad de calor que pasa así desde el ecuador al polo, como lo prueba lo siguiente:

Merced á numerosas y bastanté exactas observaciones sabemos que en las regiones ecuatoriales, el calor absorbe cada año una capa de agua de 5 metros de espesor por lo menos. Supongamos que caiga anualmente

en las mismas regiones una capa de lluvia de dos metros; aun quedará una cantidad de agua representada por tres, que debe pasar en estado de vapor á las regiones mas inmediatas á los polos. Puede calcularse en 70 millones de millas geográficas la superficie en que tiene lugar la evaporacion, y partiendo de este dato, tendremos que la capa de 3 metros representa un volumen de agua igual á 721 billones de metros cúbicos (721×10^{12}). La cantidad de calor contenida en esta masa de vapor seria capaz de fundir montañas de hierro cuyo volumen midiera once mil millones de metros cúbicos!

Esta masa enorme de calor pasa de *incógnito*, por decirlo así, desde el ecuador á los polos, trasportada por la accion del vapor, el cual, trasformándose en agua y en hielo, deja escapar todo el calor que habia absorbido, contribuyendo de este modo á mitigar el rigor de aquellas regiones desoladas. Los rayos solares se asemejan á un sistema de poleas y de cuerdas, tiradas sin cesar por manos invisibles ocupadas en elevar los cubos de agua hasta la altura de las nubes. El comandante Maury hace observar que jamás se habria obtenido idéntico resultado con un gas propiamente dicho, porque para trasportar por el *aire* solo la misma cantidad de calor, hubiera sido preciso calentarlo hasta la temperatura de los hornos altos.

Así es cómo se distribuye el calor en la Atmósfera. Así es cómo se preparan los nublados y las lluvias de que hablaremos pronto.

El espesor de las capas de aire atravesadas por los rayos solares influye notablemente en la luz y en el calor recibidos. Como los rayos caloríficos, en lugar de descender verticalmente hácia la tierra, llegan oblicuamente á ella, es tanto mayor su pérdida cuanto mas pronunciada sea la oblicuidad. Se han hecho diferentes cálculos sobre dicha pérdida, siendo las fórmulas de Bouguer y de Laplace las que parecen ofrecer mas exactitud. Haciendo uso de ellas,