

PARTE SEGUNDA.

DEL CALOR EN LA ATMÓSFERA.

CAPÍTULO I.

CONSIDERACIONES PRELIMINARES: CLASIFICACION DEL CALOR:
TEORIA DE SU DISTRIBUCION EN LA ATMOSFERA:
SUS LEYES: SU CONFORMIDAD CON LOS FENOMENOS
TERMICOS: DIAGRAMA.

69.—Las leyes que rigen el calor en las regiones aéreas han sido hasta ahora, como las relativas á la densidad atmosférica, enteramente desconocidas. Datos hay para afirmar de un modo general, que él disminuye gradualmente de abajo para arriba, pero esos datos han sido recogidos sólo hasta cierta altura, y por otra parte revis-ten una variedad tan grande en sus enunciados, que no han servido para deducir experimentalmente las reglas del descenso de la temperatura. Creo yo haberlas descubierta por medio del cálculo y con apoyo de esos mismos datos, pudiendo por ellas explicar satisfactoriamente el estado térmico normal de la atmósfera, salvas pasaje-

ras aunque frecuentes perturbaciones, que habían impedido á los físicos lograr la averiguación de dichas reglas.

70.—Debo ante todo hacer la siguiente observación. La cantidad de calor emitida por el sol es sensiblemente la misma para toda la extensión de la columna de aire, puesto que ésta no tiene más que cuatro leguas de elevación, y distando el sol de la tierra treinta y ocho millones, es claro que de 38000000 en la cima á 38000004 al pié de la atmósfera, la diferencia es insignificante, llegando apenas á cosa de un diezmillonésimo de toda la distancia. Y sin embargo de esto, nada hay tan extremoso como las temperaturas que se observan desde la superficie del planeta á diferentes puntos de su cubierta gaseosa, siendo tan violenta la rapidez de su disminución, que en dos leguas de altura á que han podido llegar los aeronautas, se han recorrido á veces más de cuarenta grados del Centígrado. De aquí se desprenden á la vez dos consecuencias: que no todo el calor *absoluto* emitido por el sol queda en los aires; y que la temperatura que sentimos, la temperatura perceptible á nuestros sentidos y apreciable por los instrumentos termométricos, á saber, el calor *sensible*, es un fenómeno puramente atmosférico, obedeciendo sus modificaciones á las del aire y viceversa, y viviendo ambos en cierto modo bajo el imperio de las mismas leyes. Estas leyes, que siendo comunes tanto al fluido aéreo como al calorífico, dan un nuevo testimonio de la unidad de las que gobiernan á la naturaleza, son las que voy á explicar en seguida.

71.—En la atmósfera distingo tres manifestaciones del calor sensible. Llamaré á la primera *calor al sol*, y es el que se siente, exponiéndose directamente á la acción de

los rayos de este astro: á la segunda *calor á la sombra*, que es el que comunicado por el sol, pero fuera ya de su acción directa, conserva el aire en virtud de su poder absorbente: á la tercera *calor reversivo*, siendo aquel que, absorbido por el suelo, es devuelto por éste á la atmósfera y al vacío por irradiación. Estas tres especies de calor no son más que el mismo del sol, según la diferente cuantía en que es retenido por el aire, y el modo con que es percibido por nuestros sentidos. Ellas están sujetas á las leyes siguientes, que demostraré, y que son confirmadas por la experiencia.

72.—PRIMERA LEY.—*El calor al sol* crece de la base á la cabeza de la columna aérea como el cuadrado de los espacios.

73.—Los rayos solares, á medida que penetran en el interior de la atmósfera, tropiezan con masas de aire cada vez más densas, entre las cuales dejan una parte de sus partículas caloríferas, de donde se sigue forzosamente que la intensidad de esos rayos debe ir disminuyendo, conforme van aumentando las masas que ellos atraviesan. Ahora bien, como he demostrado anteriormente, que esas masas, contadas á espacios iguales, deben crecer como 1, 3, 5, 7, 9. . . . , es evidente que los rayos caloríficos, ó la temperatura al sol, disminuyen de arriba abajo en la misma proporción, y por lo tanto de abajo para arriba aumentan de la propia manera, esto es, también como 1, 3, 5, 7.

74.—Esto se patentizará mejor con la siguiente demostración ejemplar: Si suponemos que el sol penetra en la atmósfera con un calor de 12 grados, y que en las capas aéreas, á iguales distancias, como se ha dicho, va

dejando sucesivamente calor como 1, 3, 5, 7. . . . , restando de 12 cada uno de los términos de esta progresión, que expresa el calor que se pierde de arriba abajo, queda otra progresión inversa y de la misma especie, que demuestra el calor solar que va quedando de abajo para arriba, así:

	12,	12,	12,	12,	12,	12.
—	1,	3,	5,	7,	9,	11.
	11,	9,	7,	5,	3,	1.

75.—Pues bien, como la suma sucesiva de los términos de esa progresión da esta otra 1, 4, 9, 16. . . . , cuyos términos son como el cuadrado de los espacios, luego queda demostrado, que la ley de su crecimiento está en razón de dichos cuadrados.

76.—Esta ley explica satisfactoriamente el fenómeno observado por algunos aeronautas, que á mayores alturas encontraban un *calor al sol* cada vez más fuerte, contrastando con la disminución también progresiva de la temperatura en la sombra. Es cierto que, á pesar de esto, los hielos en las altas montañas desafían la intensidad de los rayos solares sin derretirse, mientras abajo se líquidan con más facilidad, lo cual parecería desmentir la ley sobredicha; pero esto depende de otras circunstancias. El efecto de dichos rayos obedece á la mayor ó menor aptitud que los cuerpos tienen para absorber y guardar el calor, devolviendo el resto por reflexión á los espacios; y los hielos no tienen esa aptitud, sino al contrario, un poder reflector muy grande que no les permite dejarse penetrar de aquellos. El aire ambiente es el que hace los des-

hielos, cuando su temperatura es superior al punto de congelación; pero como ella es constantemente inferior en ciertas alturas atmosféricas, esta es la razón porque allí se observan las nieves perpetuas.

77.—La cantidad de calor absoluto que llega á la superficie de la tierra por entre los intersticios del aire no es conocida, á causa del regreso por reflexión de una parte de los rayos solares al espacio. Pudiera ser averiguada, empleando para medirla algún cuerpo de poder absorbente completo, que no dejase escapar ninguna porción del calor que de aquel astro recibiese. Hecha la adquisición de este dato, y haciendo además algunas observaciones en las alturas con el propio objeto, podría también construirse en términos concretos la progresión térmica del *calor al sol*, deducirse por ella el que hay en la cumbre de la atmósfera, y de éste el que existe en el propio astro, foco incandescente que lo emite á todo el sistema planetario. Algunos aparatos se han inventado, donde se recoge y guarda ese calor en mayor cantidad que la que revela el termómetro, pero ellos no encierran la totalidad, que seguirá huyendo de toda investigación, hasta que, como he dicho, se encuentre un cuerpo de poder absorbente absoluto. Por lo expuesto, los cálculos con que se pretende haber fijado la cantidad del calor solar en centenares y aun miles de grados, me parecen imaginarios, como fundados en datos inseguros.

78.—Hay que advertir, que los que suministra el termómetro, no lo son menos en ciertas circunstancias. A la sombra, donde el instrumento está rodeado de aire con temperatura uniforme por todos lados, sus indicaciones deben ser verídicas. Pero expuesto al sol, dará siempre

temperaturas relativamente más bajas, porque si de un lado recibe los rayos solares, del opuesto no los recibe, se halla á la sombra, y por consiguiente tiene que indicar un término medio entre ambas temperaturas, que no es precisamente la del sol que se busca. Esta causa de error dará resultados más sensibles á mayores altitudes, donde el calor al sol y á la sombra deben ser más divergentes, principalmente si se atiende á que la forma cilíndrica y la tersura del vidrio de que se compone el tubo termométrico, así como el brillo del mercurio en él contenido, dispersan una buena parte de los rayos solares que sobre él caen, la cual, por cierto, no podrá ser acusada por el instrumento.

79.—SEGUNDA LEY.—El *calor á la sombra* crece, de la cabeza á la base de la columna atmosférica, como el cuadrado de los espacios.

80.—Como se ve, este crecimiento es inverso del que enuncia la ley primera, y al mismo tiempo parece una paradoja, porque habiéndose dicho en el párrafo 73, que la intensidad de los rayos solares disminuye más y más de arriba para abajo al penetrar en la atmósfera, lo cual es muy natural, puesto que capas aéreas cada vez más densas impiden el tránsito á un número cada vez mayor de partículas caloríferas, sin embargo la ley expresada y la experiencia enseñan de consuno, que se siente más calor abajo que arriba, lo cual parece envolver un absurdo.

81.—Pero toda dificultad desaparecerá fijando la atención en que, si efectivamente la atmósfera es penetrada por el sol con una intensidad decreciente, debido á las masas aéreas que atraviesa, en cambio, cuando el aire está á la sombra, y las emisiones solares que lo bañaban no son, por lo mismo, reemplazadas incesantemente por otras, las

partículas caloríferas que no son retenidas por el poder absorbente del fluido, huyen instantáneamente á los espacios por la radiación, escapando con tanta mayor facilidad, cuanto menores son las masas aéreas que puedan impedirselo en el tránsito.

82.—Y como esas masas aéreas que se interponen al paso de abajo para arriba, según ya se ha repetido, disminuyen como 7, 5, 3, 1, resulta que el calor que en ellas queda, es de arriba abajo como 1, 3, 5, 7. con relación á cada uno de los espacios, ó bien como 1, 4, 9, 16. . . , con relación á los totales; ó lo que es lo mismo, el *calor á la sombra* aumenta, de la cabeza al pié de toda la columna atmosférica, como el cuadrado de los espacios, que es lo que expresa la ley segunda.

83.—Para comprender mejor lo que acabo de explicar, debe fijarse la atención en la diferencia que hay entre el calor emitido por el sol y que atraviesa por los intersticios de las partículas aéreas, y aquél que éstas absorben y retienen á causa de su afinidad con los átomos caloríferos de aquel astro. El primero tiene que ir menguando al pasar por tamices de aire cada vez más tupidos, habiéndose probado su decrecimiento en varias ascensiones aeronáuticas; y el segundo, que se manifiesta á la sombra, sin intervención directa de los rayos solares, es el que ha quedado retenido por dichas partículas y se revela al contacto de las mismas con nuestros sentidos y nuestros instrumentos termométricos. Y como á ese contacto pueden concurrir capas de aire más ó menos densas, he aquí por qué podemos, en consecuencia, sentir más ó menos calor, explicándose así satisfactoriamente la verdadera causa de la depresión de la temperatura por el

enrarecimiento del expresado gas en las alturas. Esto puede confirmarse, además, con ejemplos de muchísimos fenómenos vulgares análogos, de los cuales citaré sólo algunos bien sencillos. Si de un suelo abrasado por los ardores del sol, recogemos algunos granos de arena y los ponemos en la palma de la mano, de seguro sentiremos menos calor que si en ella arrojásemos un gran puñado que la cubriese completamente, no obstante que todos los granos debían tener la misma temperatura, comunicada por los rayos solares. Y si en alguna parte del cuerpo recibiésemos unas gotas de agua hirviendo, no nos quemaríamos tanto como si allí mismo recibiésemos un grueso chorro, aunque en ambos casos salga el agua del mismo caldero puesto al fuego.

84.—La condensación de los gases no engendra propiamente calor, ni el enrarecimiento frío; sólo producen un cambio en el modo con que el mismo calor es percibido por nuestros sentidos ó señalado por nuestros instrumentos. Puede un volúmen de aire aparecer en su dilatación con un descenso relativo de temperatura, y sin embargo conservar la misma cantidad absoluta de calor. Así es que, aun suponiendo las partículas aéreas superiores con el mismo ó mayor grado de temperatura que las inferiores, no obstante esto, aquéllas, más separadas entre sí, deberán acusar un estado térmico relativamente menor.

85.—Corolario es de la ley que nos ocupa, que los espacios deben crecer de arriba abajo como la raíz cuadrada de los grados de calor que en el aire se van desarrollando; porque si á espacios iguales que forman la serie 1, 2, 3, 4, 5...., hay temperatura como 1, 4, 9, 16, 25....,

según la ley referida, es claro que á grados iguales que á su vez forman la serie 1, 2, 3, 4, 5...., los espacios se extenderán entonces como $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{4}$, $\sqrt{5}$... , ó como 1, 1.41, 1.73, 2, 2.24.... Otra consecuencia se saca, y es, que si el espacio correspondiente al primer grado que se desarrolla dentro de la atmósfera es 1, los demás espacios correspondientes á los demás grados van corriendo como 1.41—1, 1.73—1.41, 2—1.73, 2.24—2... , ó como 1, 0.41, 0.32, 0.27, 0.24.... Esto explica perfectísimamente el fenómeno observado en las ascensiones aerostáticas, que revela una disminución de los espacios de arriba abajo más rápida que el crecimiento de la temperatura, y viceversa, el crecimiento de los primeros de abajo para arriba con mayor celeridad que la disminución de la segunda, como se acaba de ver y se patentizará también con ejemplos más adelante; siendo esta circunstancia una prueba más de que la ley expresada es verdadera, puesto que aparece conforme con ese fenómeno térmico, que hasta hoy había permanecido sin explicación.

86.—Para facilitar la inteligencia de lo que dejo expuesto, he formado el diagrama que se ve á continuación bajo la figura 4, en la que supongo el número de 64 grados de calor, á los cuales corresponde una altura de 16904 metros y una temperatura de más de 15 grados Centígrados en la base: yo, sin embargo, pongo 16°, para hacer más cómoda la demostración. Según se demostrará más adelante, el primer espacio en que se desarrolla el primer grado de arriba, es fijamente de 2113 metros, y él da la norma para el cómputo de los demás espacios y de las temperaturas aéreas. Así vemos en la primera columna de números de la izquierda los espacios, de á 2113 metros

cada uno, al nivel de las líneas salientes del diagrama, los que contados desde la cima, llegan á sumar 16904 en la base; y allí mismo están señalados los correspondientes á los grados de calor que se van desarrollando hácia abajo en la proporción indicada en el párrafo anterior, esto es, 2113, 2988, 3660. . . . , al paso que en la segunda columna se registran los espacios correspondientes al desarrollo de cada grado aisladamente, que son 2113, 875, 672, 566, 133. En la primera columna de la derecha se hallan los grados de calor atmosférico del 1 al 64, debiendo fijarse la atención en que en el primer espacio de 2113 cabe 1 grado, en el segundo de aquellos caben 3 de éstos, en el tercero 5, en el cuarto 7, de tal manera que si en el primero cabe 1, como he dicho, en el primero y segundo caben 4, en el primero, segundo y tercero 9. . . . y en todos ellos 64. En la segunda columna del mismo lado están los grados termométricos desde el 16 en la base hasta el -48 en la cima. A su tiempo se verá la diferencia que hay entre los grados atmosféricos y termométricos, y la manera de hacer la conversión de los unos en los otros.

87.—TERCERA LEY.—El *calor reversivo* es muy irregular, dependiendo de la diversa calidad absorbente y configuración de los suelos, y ejerce muy poco influjo sobre la densidad y temperatura de los aires.

88.—Siendo tan varia la aptitud de los terrenos para recoger calor, es consiguiente la diversidad de temperaturas que debe observarse en el que ellos devuelvan á la atmósfera; y de aquí la irregularidad del de que se trata. Además, una población con numerosos edificios, un terreno muy accidentado, ó circuido de cerros, ó recibiendo los reflejos solares de una pendiente etc., están por esta razón

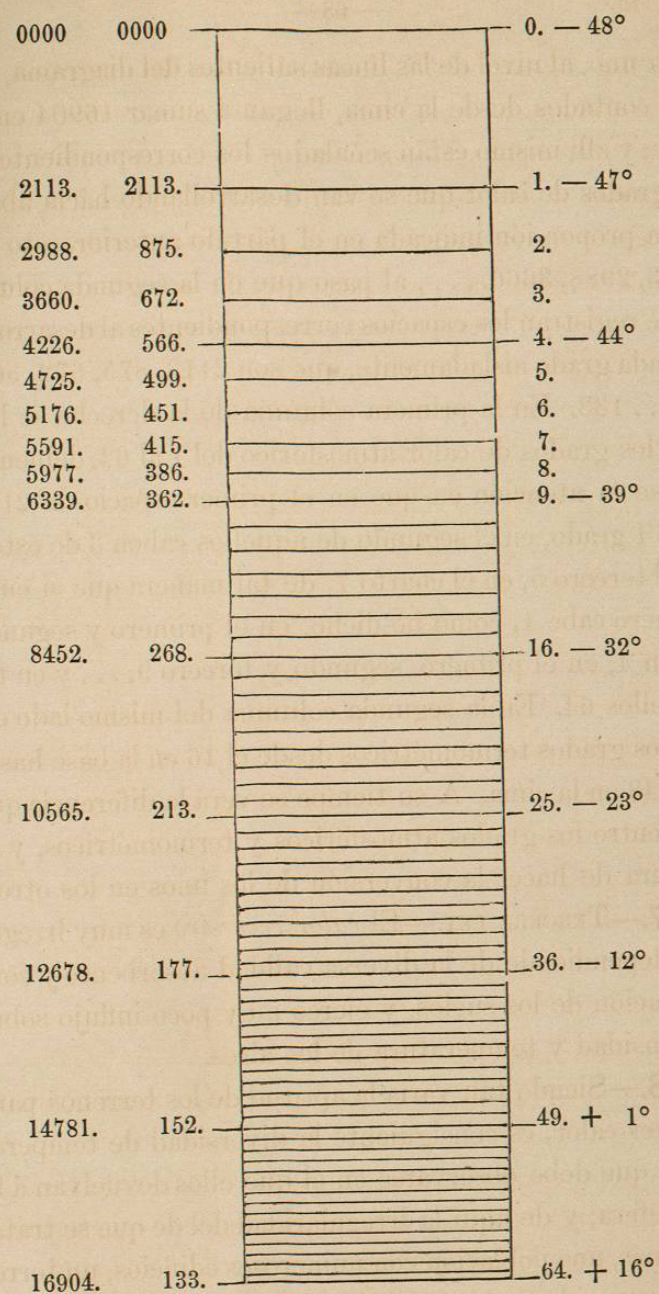


Figura 4.

Diagrama de la estructura atmosférica, demostrando la distribución teórica de la temperatura con relación á los espacios y á las masas de aire.

expuestos á mayores temperaturas, que lugares despejados y en la misma altura.

89.—Mientras la tierra se encuentre ocupada en atraer los rayos que el sol le envíe en cantidad creciente, es indudable que no podrá devolver ninguna parte del calor que almacena; pero cuando la intensidad de los rayos que reciba vaya menguando, y especialmente en lugares á la sombra que hayan sido caldeados por el sol, entonces aparecerá el *calor reversivo* como brotando de la tierra. Esto es un efecto del equilibrio de las temperaturas, que tiende á establecerse entre cuerpos vecinos, y al mismo tiempo explica por qué, según la frase vulgar, *vaporiza* más la tierra en la tarde que en la mañana, y por qué también la máxima temperatura del día se registra de la una á las dos de la tarde, hora en que la del suelo comienza á manifestarse más alta que la del aire, que ha comenzado á decaer.

90.—El efecto de esta especie de calor debe consistir en enrarecer las últimas y más próximas capas de este fluido, con lo cual no sólo interrumpirá la progresión de la densidad atmosférica que crece de arriba para abajo, sino que á veces formará otra inversa de abajo para arriba, que concurra con la primera á muy corta distancia de la superficie terrestre. La línea de concurso es donde el aire debe entonces tener mayor densidad, é imagino que á ella se deban los espejismos que se observan, cuando la tierra recalentada reverbera y dilata dicho fluido. Quizá esta línea de máxima densidad sirva también de explicación al aumento de temperatura que ha solido advertirse á algunas alturas respecto de la del suelo. El *calor reversivo* debe observarse también por sobre las nubes, que por

idéntica causa devuelven á los espacios parte del calor que habían absorbido, trastornando allí, del mismo modo, la regularidad de la progresión térmica, y á esto deben atribuirse los antelios y otros fenómenos ópticos, observados por los aeronautas, al remontarse en globo más allá de la región en que ellas se hallan aglomeradas.

91.—Puesto que el *calor reversivo* se observa pocas ocasiones, por corto tiempo, es decir, mientras se restablece el calor normal de la progresión, y hasta muy cortas y variables alturas, se comprende muy bien, que no ha de poder influir gran cosa en la estructura ni en la temperatura regular de la atmósfera, á las cuales sólo pasajera y muy localmente alcanza á perturbar. Se infiere también, que las alturas y los demas elementos de las progresiones atmosféricas no podrán depender de él, supuestos sus cambios irregulares y aun repentinos de uno á otro lugar próximos, sino sólo del calor normal no perturbado.

CAPÍTULO II.

ORIGEN DEL CALOR ATMOSFERICO: CAUSAS DE CIERTOS CAMBIOS EN LA TEMPERATURA: ESTOS CAMBIOS NO MODIFICAN LAS LEYES DE LAS PROGRESIONES AEREAS: SUS EFECTOS EN LA PROLONGACION DE LAS ALTURAS: VIENTOS: ATMOSFERAS PLANETARIAS.

92.—Cualquiera que sea la realidad en el punto tan discutido sobre el calor central de la tierra, lo cierto es que él no ejerce un influjo sensible desde la superficie del planeta para arriba, donde únicamente el sol da pábulo á las temperaturas atmosféricas. El calor solar obedece á un tiempo á dos circunstancias, que no deben perderse de vista: al aumento ó disminución de los rayos caloríferos que el astro envía á la tierra, y á la mayor ó menor cantidad de masas de aire que dichos rayos tienen que atravesar para calentar una columna aérea. Tanto el *calor al sol*, como el *calor á la sombra*, aumentan á proporción del que el astro rey emite; pero el primero se hace percibir mejor en los cuerpos de mayor poder absorbente de calor, y el segundo en las capas de aire de mayor densidad.

93.—Si el *calor á la sombra* depende, como acabo de indicar, de la fuerza de los rayos solares y de la densidad atmosférica, es evidente que, en cuanto á la primera de dichas causas, los cambios de temperatura podrán venir de la mayor ó menor aproximación de la tierra al sol al