

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

correr en su órbita, de la sucesión de los días y de las noches más ó menos largos, de la rotación cuasi-decenal de las máculas y fáculas solares, y de otras circunstancias que contribuyen á transmitir directamente á nuestro planeta mayor ó menor cantidad de calor. Tocante á la segunda de las causas expresadas, esto es, la densidad atmosférica, puesto que donde quiera que ésta es mayor, bajo la misma emisión solar, aparece mayor la temperatura, es claro que todas las causas que acarrearán al aire un cambio en la primera, necesariamente tienen que producirlo también en la segunda.

94.—Y de paso diré, que si el enrarecimiento de un gas va acompañado de un descenso en la temperatura, no hay para qué atribuir la desaparición de calor al *trabajo interior* del gas, como hace cierto autor. Parece que no hay necesidad de acudir al misterio de fuerzas ocultas, cuando hay causas físicas de suficiente congruencia para explicar dicho fenómeno. En el presente caso, la desaparición del calor más es aparente que efectiva: no hay más que expansión de las partículas caloríficas, á medida que se verifica la del aire que las ha absorbido y lleva consigo; y así como este gas, en virtud de su enrarecimiento, pone menos partículas en contacto con las superficies de los cuerpos á que se arrima, así también el calor se hará sentir menos sobre ellas, porque serán en menor número los átomos del fluido ígneo que las afecten. En un sentido inverso puede decirse lo mismo del calor por la compresión.

95.—La primera y más patente manifestación de los cambios de temperatura por la densidad, es la que se observa en las alturas atmosféricas, más cálidas mientras

más densas, aumentando su calidez en razón del cuadrado de los espacios, conforme á la segunda de las leyes establecidas en el capítulo precedente. Y debido á esta condición acontece, como es lógico, que mientras más calor arroje sobre la atmósfera el astro del día, mayor cantidad de él recogerá cada capa, pero en proporción á la medida indicada en dicha ley. Así es que, si abajo aumenta la temperatura un grado, no tendrá igual valor el aumento de la misma en los estratos aéreos superiores, sino cada vez menos; pero en cada estrato y bajo la misma presión los aumentos serán proporcionales á las emisiones solares.

96.—La segunda causa de cambios térmicos es la gravedad que aumenta del ecuador á los polos, y la fuerza centrífuga, que crece á la inversa, de los polos al ecuador. En efecto, como la primera ejerce presión sobre el aire, y la segunda la neutraliza en parte, es inconcuso que aquella debe causar en dicho gas mayor densidad que ésta, á lo que es consiguiente que el aire acusaría mayor temperatura en las tierras polares y menor en las ecuatoriales, si no fuera porque en el primer caso recibe menos, y en el segundo más calor, directamente del sol. Si éste, en idénticas circunstancias, se colocase á los 45 grados de latitud, igualmente distante de las unas que de las otras, no cabe duda que, en tal evento, el aire más denso en el polo se calentaría más, que el menos denso del ecuador.

97.—La tercera de las causas que yo contemplo capaces de producir los cambios referidos, consiste en las atracciones ejercidas por el sol y la luna. Es natural que la presencia de dichos astros sobre una región aérea, especialmente

siendo simultánea por hallarse en conjunción, atraiga hacia ellos la atmósfera terrestre, elevándola, enrareciéndola y causando á proporción del enrarecimiento una disminución de calor, de conformidad con las leyes físicas reconocidas. A la inversa, en el hemisferio opuesto, debe haber mayor densidad, depresión de altura, y aumento de calor. Y la razón es, porque en el primer caso la atracción del sol y de la luna, obrando en dirección contraria á la gravedad terrestre, neutraliza en parte su acción comprimente, y en el segundo, obrando en el mismo sentido, la aumenta y ayuda. Estas atracciones deben presidir á las mareas del aire, como lo hacen con las del mar, pudiendo darles tanta mayor altura, cuanto el elemento aéreo es menos pesado que el agua.

98.—La cuarta depende de las oscilaciones que debe sufrir la atmósfera á consecuencia de la mayor ó menor rapidez con que nuestro planeta marcha en su órbita al rededor del sol. Si en cierta parte de ésta, la tierra tiene una velocidad media, cualquiera que ella sea, á la cual se había acomodado la situación de su envoltura gaseosa, no cabe duda que si en seguida precipita su carrera, provocará, por la parte del globo opuesta á la dirección de su movimiento, una corta prolongación de la atmósfera, proveniente de un ligero retardo de ésta, puesto que por la fuerza de inercia seguía al planeta con movimiento más lento; y por otra parte, cuando éste se retarda en su camino, el aire entonces, por la propia causa, se prolonga hacia adelante, produciéndose así una oscilación periódica, que da por resultado en ambos casos aumento en la elevación de la columna fluida, su mayor dilatación y por consiguiente un abatimiento en su temperatura. Posible

es, que por medio de estas oscilaciones se explique un fenómeno meteorológico hasta hoy incomprendible, que consiste en el descenso de temperatura y en la perturbación atmosférica que se observa siempre al rededor del día 12 de los meses de Febrero, Mayo, Agosto y Noviembre; pero yo no me avanzaré á dar esta conjetura como una opinión fundada.

99.—La quinta, por fin, viene de la oblicuidad con que los rayos solares penetran en la atmósfera, pues entonces, teniendo que atravesar mayor cantidad de fluido aéreo, pierden más calor en el tránsito, y calientan menos la columna atmosférica. Veamos en la figura 5 cómo pueden calcularse esas masas de aire interpuestas.

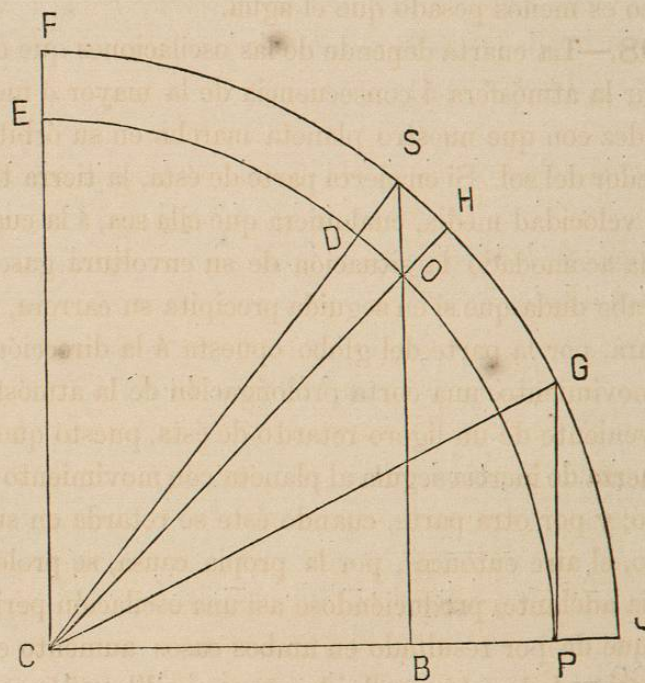


Figura 5.

Suponiendo C el centro de la tierra, O el punto de ésta donde se halla situado el observador, H el cenit y S el punto por donde el sol penetra á la atmósfera, figurada por el cuadrante de círculo FSHGJ, si se tira una recta de C á S, otra de S á B y otra de C á H, tendremos dos triángulos rectángulos: uno, CBO, compuesto del radio terrestre CO, de CB, igual al seno de la latitud del punto de observación y del coseno BO de la misma: y el otro, CBS, en el que el lado CS se compone de CD, igual al radio de la tierra, y de la altura atmosférica DS, igual á HO; el lado BS se compone del coseno de la latitud antes dicho, y del espacio OS, que es el que se busca; y el lado BC es el seno de la latitud ya indicado. Llamando l á la latitud, H á la altura de la atmósfera DS, A á la altura inclinada OS, y R al radio de la tierra, y por consiguiente $\frac{R+H}{R} = 1 + \frac{H}{R}$ al lado CS, sentaremos la siguiente ecuación sobre el principio tan universalmente admitido en matemáticas, de que en todo triángulo rectángulo el cuadrado de la hipotenusa es igual á los cuadrados de los catetos ó lados

$$\left(1 + \frac{H}{R}\right)^2 = \text{sen.}^2 l + (\text{cos. } l + A)^2$$

Despejando A , tendremos

$$A = \sqrt{\left(1 + \frac{H}{R}\right)^2 - \text{sen.}^2 l} - \text{cos. } l. \quad (1)$$

100.—Bien se comprende, que si el observador se hallase en el polo P y el sol entrase por G á la atmósfera, los

rayos solares atravesarían todo el trayecto GP, y como entonces el seno de la latitud es igual á 1 y el coseno importa cero, sería

$$A = \sqrt{\left(1 + \frac{H}{R}\right)^2 - 1} \quad (2)$$

Y si el observador estuviese en el ecuador E, recibiendo el sol por el zenit F, en cuya circunstancia el seno es nulo y el coseno igual á 1, la ecuación quedaría

$$A = \sqrt{\left(1 + \frac{H}{R}\right)^2 - 1} = \frac{H}{R}. \quad (3)$$

101.—Aclaremos el punto con ejemplos. Si la atmósfera en el polo se hallase á $-16^{\circ}11$ del Centígrado, que es su temperatura media, siendo entonces su altura de 14.600 metros, tendremos el valor de GP en medidas del radio terrestre, que es de 6366513 metros, conforme á la ecuación (2) del párrafo anterior, así:

$$A = \sqrt{\left(1 + \frac{H}{R}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(1 + \frac{14.600}{6366513}\right)^2 - 1} = 0.068557$$

(del radio.)

Como en tal suposición la altura de la atmósfera JP, en radios de la tierra, es (3)

$$A = \frac{H}{R} = \frac{14600}{6366513} = 0.002351 \text{ del radio,}$$

si dividimos aquel resultado por éste, hallaremos que en

el caso referido la altura JP en el polo es 29 veces menor que la columna horizontal GP. Haciendo la misma operación comparativa de GP con las alturas atmosféricas EF y SO, en el ecuador y á los 45° de latitud, correspondientes á sus temperaturas medias $27^{\circ}77$ y $11^{\circ}11$, hallaremos que dicha columna horizontal es 24.8 veces más larga que la primera, y 18.6 veces más que la segunda.

102.—Una advertencia hay que dejar consignada, y es que la altura GP y las demás inclinadas al horizonte que siguen el curso de la luz del sol, no son fijas, dependiendo su magnitud de la de las alturas rectas en el punto de observación, como es fácil de reconocer por medio del cálculo.

103.—Sin embargo de lo expuesto, no se entienda que la cantidad de aire atravesada por el sol da en proporción recíproca la medida del calor en la base y en el cuerpo de la columna atmosférica. Si las alturas de las columnas recta y horizontal de un lugar están como 1 á 29, no por esto la relación del calor entre ambas estará como 29 á 1, aunque en lo general puede decirse que mientras en una columna oblicua haya más cantidad de aire interpuesto, se ha de observar en la recta menor temperatura, pero no he podido alcanzar la proporción precisa, y he tenido que renunciar por ahora al empeño de investigarla.

104.—De lo expuesto en la parte precedente de este capítulo resulta, que el peso del aire, decreciendo en las alturas, produce cambios en la densidad del fluido; los produce la atracción terrestre y la fuerza centrífuga, que obran en sentido inverso y según la latitud; no menos los causa la atracción del sol y de la luna, enrareciendo

ó comprimiendo el aire, así como también la oscilación periódica que en él debe efectuarse en cada estación del año á causa del variado movimiento de proyección de la tierra; y no es la menos eficaz para producirlos la oblicuidad con que penetran á la atmósfera los rayos solares, deprimiendo la columna aérea á proporción que dicha oblicuidad sea más pronunciada. Pues bien, si todas esas circunstancias originan cambios en la densidad atmosférica, y los cambios en la densidad producen cambios en la temperatura, y los cambios en la temperatura, ó el estado térmico del aire, son los que me han servido de base para calcular las alturas y los demás elementos de la progresión atmosférica, es claro que en esos cálculos y en las fórmulas por cuyo medio se efectúan, en las que van implícitamente consideradas las predichas circunstancias, no hay necesidad de hacer las correcciones que en éstas se han querido fundar, y que actualmente se acostumbra entre los físicos. Si hay alguna fórmula que necesite corrección, será porque no se funde en principios verdaderos y precisos, que comprendan á la vez los puntos todos del asunto á que ella debe servir de expresión.

105.—Del modo con que se forma el calor en los aires, se infiere también que sus cambios no producen modificación alguna en las condiciones naturales de la progresión aérea. Porque si la temperatura procede de que las masas de aire impiden á los rayos del sol penetrar todos hasta el suelo, y al calor absorbido por el fluido salir todo por irradiación á los espacios; si el *calor al sol*, por la causa indicada, es de abajo arriba como el cuadrado de los espacios, y también como el cuadrado de los espacios

el calor á la sombra de arriba abajo, es claro que, cualquiera que sea el calor que emita el sol, mucho ó poco, no puede perturbar esas leyes, subsistiendo siempre la progresión térmica, que depende exclusivamente de las densidades aéreas, y subsistiendo también la progresión atmosférica, sin ser trastornada por aquella, porque el efecto no puede modificar la causa.

106.— Solamente una modificación general produce el calor en la atmósfera, pero sin destruir las leyes de su progresión, y consiste en que, dilatándose el aire, las columnas se prolongan, pesan menos por su retiro del centro de la tierra, y pierden por esto el equilibrio con las demás columnas más frías y más bajas, de las cuales toman la masa aérea suficiente para restablecer la igualdad de los pesos, pues esta es una ley ineludible para todos los fluidos. De consiguiente, cuando hay mayor temperatura que la normal en una columna, habrá en ella desde luego la misma masa aérea, aunque menos densa, pero con tendencia á llamar sobre sí mayor ó menor cantidad del fluido vecino, y con más ó menos violencia, según el grado de calor que la haya enrarecido, y la extensión de la comarca en que el desequilibrio se haya efectuado.

107.—A esta circunstancia se debe cabalmente la formación de los vientos, aunque á mi juicio no es el procedimiento como el que se enseña comunmente. Dícese que el aire, fuertemente caldeado en la zona ecuatorial, se eleva en masa hacia las altas regiones de la atmósfera, tomando á cierta altura la dirección de los polos, y que el movimiento ascensional, producido de este modo, provoca una aspiración del aire, colocado en las regiones vecinas, que se dirige á reemplazar al que se eleva. Varias

razones me persuaden, de que el aire no toma ni puede tomar el movimiento ascensional en masa que se le atribuye. La primera, porque en las regiones donde el aire se elevase, el peso de éste ya no se ejercería por entonces en dirección de la gravedad, ni produciría efecto comprimente sobre la columna barométrica, la cual por esta causa debería abatirse totalmente; y sin embargo, este abatimiento apenas se observa en muy corta escala, fenómeno que explicaré más adelante. La segunda, porque si las corrientes horizontales, á veces sumamente fuertes, están destinadas á reemplazar á las ascensionales, éstas deberían tener la misma velocidad que aquellas, lo cual no tiene el más pequeño asomo de exactitud real. El calor que el sol derrama en la atmósfera, no enrarece únicamente la base de las columnas aéreas, sino á todo el cuerpo de las mismas, este es un hecho que no puede desconocerse; y si es así, no puede haber esa succión á que se atribuye el ascenso del aire. El calor reversivo trastornaría algo los estratos contiguos al suelo, pero sus efectos no pueden pasar de alturas muy limitadas, como antes he dicho.

108.—El verdadero procedimiento de la atmósfera en la formación de los vientos, no puede ser otro que el siguiente, que responde á las enunciadas dificultades. Pero ante todo, conviene dejar demostrado, que cuando el aire sube á las regiones superiores, no es por virtud del aumento de calor en las inferiores, como vulgarmente se cree. Si así fuera, el aire estaría animado de un movimiento ascensional constante, porque, por su constitución orgánica, está constantemente más cálido abajo que arriba. Ese aumento de calor es precisamente un *efecto*

de la mayor densidad del gas, y por consiguiente no puede convertirse al mismo tiempo en *causa* de su atenuación y ascenso. Cuando el sol emite más calor, éste se distribuye proporcionalmente en toda la columna aérea y no alcanza á trastornar las progresiones térmica y atmosférica, como demostré en el párrafo 105.

109.—Ahora bien, hiriendo el sol con sus rayos una columna, le comunica su calor en todas las alturas á la vez, y en proporción á sus masas decrecientes; aumentando su temperatura, el gas se dilata en la misma medida; la dilatación causa la elevación, y ésta hace que la cabeza de la columna se aleje algo de la tierra, minorando así el peso de toda ella, disminución que revela el barómetro con el descenso proporcional de algunos centímetros de su escala, que comunmente no pasan de cinco á seis. El enrarecimiento y la disminución del peso rompen el equilibrio, que es una ley natural de todos los fluidos, y en consecuencia los aires vecinos acuden á restablecerlo, penetrando en la columna débil, comprimiéndola y haciéndola desbordarse por la parte superior, donde se forman corrientes inversas á las de abajo; y de aquí viene á su vez un aumento en el peso de la columna, que acusa también el barómetro. A medida que el calor es más fuerte y que ha enrarecido el aire por comarcas más extensas, el viento que se forme será más violento, porque obedeciendo á los impulsos de la gravedad en cualquiera dirección, según otra propiedad de los gases, debida á su elasticidad, al correr de regiones más frías á comarcas donde por el calor se ha vuelto menos denso, tiene tiempo de ir aumentando su velocidad por un trayecto más largo. El viento, corriendo horizontalmente,

obedece á las leyes de la gravedad, como si cayera de arriba en medio de un fluido más ligero.

110.—La atmósfera es propiamente un regulador del calor, que no permite que nos llegue y se nos haga sensible toda la enorme cantidad que el sol nos envía, ni que se escape luego todo el que nos llega. Y por lo que en este respecto pasa en la tierra, podemos conjeturar racionalmente lo que acontece en los demás planetas. Porque si sus atmósferas fuesen de la misma naturaleza que la nuestra, devolverán al espacio más calor, ó lo guardarán menos, aunque estén más próximos al sol, como la de Mercurio, si están más enrarecidas, como deben estarlo, supuesto que se hallan comprimidas por una fuerza de gravedad menor, correspondiente á la menor masa del planeta; y viceversa, guardarán más calor, aunque estén más retiradas del sol, como la de Júpiter, si son más densas, como deben serlo, por ser mayor la masa del planeta, y por lo tanto, su fuerza de gravedad comprime. Y deben ser también factores en esta composición de las temperaturas atmosféricas, lo mismo que en la tierra, no sólo la gravedad según las masas de los planetas, sino la fuerza centrífuga procedente de la velocidad de su rotación diurna, la aptitud de sus terrenos para absorber el calor y sobre todo la altura de sus atmósferas.