CAPÍTULO IV.

—

DIVERGENCIA DE PARECERES ACERCA DE LAS ALTURAS ATMOSFERICAS: OPINION SOBRE LA ATMOSFERA SUPERIOR HIDROGENICA: DESARROLLO DE LAS DEMAS PROGRESIONES AEREAS: LEYES Y FORMULAS: APLICACIONES PRACTICAS.

38.—En sus laboriosas investigaciones acerca de la verdadera elevación de la masa aérea sobre nuestras cabezas, los físicos han diferido en pareceres, y aun se han entregado á exageraciones y conjeturas, á mi juicio, infundadas, dado que no es posible recusar la inflexible lógica de los argumentos matemáticos que, como hemos visto, dan resultados tan diferentes de los que aquellos proclaman. Unos atribuyen á dicho fluido la altura de 20 leguas métricas (80000 metros), añadiendo que después sigue un aire sumamente enrarecido y que á unas 25 leguas el vacío es absoluto. Otros la hacen subir á 80. Hay quienes ponen su mínimum en 12 y su máximum en 10000, concepto que confieso no comprender. Y yo, perdóneseme el atrevimiento, la hago descender de tanta altura, hasta dejarla en 4 leguas poco más ó menos, según el estado térmico del aire, conforme llevo demostrado.

39.—Sorprende tanta variedad de opiniones, que no es posible atribuir más que al desconocimiento de la verdadera conformación de la atmósfera, y es extraño que se hayan desatendido las indicaciones indubitables del barómetro y de la bomba de agua, que sirven de contrapeso al aire, datos con los que pudiera haberse averiguado una elevación más reducida que la que obtuvieron los referidos sabios.

40.—Si la progresión de las densidades del aire de arriba abajo es aritmética, y debe comenzar con cero á distancia no muy lejana del suelo, según dejé demostrado con pruebas rigurosamente matemáticas, no se concibe á qué leyes podría estar sujeta la continuación de la atmósfera más arriba de ese cero. Por más que este aire superior se supusiera en extremo enrarecido, sin embargo es un cuerpo, y como tal debería gravitar hácia la tierra, revelando su peso natural por un aumento de altura en la columna barométrica, la cual sería entonces de más de 76 centímetros. Pero si por su extrema sutileza se le llegase á suponer imponderable y exento del influjo de la gravedad, debería también suponérsele libre de todo motivo para permanecer al rededor de la tierra y seguir el sempiterno movimiento de este planeta; por consiguiente debería entonces vagar perdido en los espacios y sin adherencias con ningún otro cuerpo.

41.—En rigor de principios, no es posible la prolongación de la atmósfera aérea más allá de las 4 leguas que le he asignado poco más ó menos. Pero como no nos son conocidos los espacios que ella ocupa más que hasta la mitad de su altura, según el resultado que han tenido las más notables ascensiones aeronáuticas, no puede, en el estado actual de la ciencia, parecer imposible que las regiones superiores, aun no exploradas por el hombre, estén ocupadas por gases de suyo más ligeros, pero reemplazando con un peso igual alguna parte de la progresión aérea, pues el peso total de la columna, que bien se sabe cuál es, no pudiera decirse que en tal suposición quedaba alterado. Concedamos, por ejemplo, que de las 4 leguas, que son la altura de la atmósfera toda de aire, la primera media de arriba es sustituida por hidrógeno, que es catorce veces menos denso; luego esta parte hidrogénica de la columna ocupará por sí sola una altura de siete leguas, que añadidas á las tres y media que quedaba ocupando la inferior, harán la suma de diez y media. Si el reemplazo fuese de toda una legua, la altura total sería entonces de diez y siete. Sólo una hipótesis semejante podría satisfacer la exigencia de una elevación mayor que la que corresponde á una columna de puro aire; mas en tal caso, si se supiese cuál es la de la atmósfera superpuesta, se podría determinar el peso que debe tener en su punto de contacto con la de abajo, y sería facil construir esa nueva progresión, la cual sólo truncaría, pero en nada más podría alterar las condiciones de la de aire.

42.— Siendo el elemento en medio del cual vivimos, tan movedizo, tan sensible á cualquiera presión por pequeña que sea, es de inferirse la suma instabilidad de su altura, que burla la exactitud de toda computación permanente, y será siempre el tormento de los calculadores meteorologistas; mas á pesar de su movilidad incansable, aparte de las leyes que, como he demostrado, presiden á su conformación en lo que tiene de estable y firme, él está también sujeto en todas y aun en sus más insignificantes

evoluciones á otras reglas constantes é imprescindibles, cuyo conocimiento completo y pormenorizado será algún día del dominio de la ciencia.

43.—Conocidos todos los elementos de la progresión que hasta aquí me ha ocupado, esto es, de la formada por las densidades medias ó las masas aéreas encerradas en cada espacio igual, pueden ya con su auxilio averiguarse los de las otras á que me he referido en el párrafo 10. En la de las densidades finales 2, 4, 6, 8. . . . . , cualquier término (*d*, siendo el último D) es igual al correspondiente de la primera que acabo de examinar, más el primero, así: $1+1=2$; $3+1=4$; $5+1=6$ etc., y de este modo se determinarán el primero y último términos de la progresión que ahora examino. La diferencia 2 es siempre igual al primer término de la misma. El número de todos ellos es igual á la densidad final, ó lo que es lo mismo, al primero y al último de la primera progresión, partidos por la diferencia. Pero la suma de los términos de esta segunda no tiene aplicación; las densidades siempre son singulares, no se acumulan.

44.—En la formada por las sumas de los términos de la primera 1, 4, 9, 16. . . . . , el primer término es como el de la primera progresión. El último y cualquiera otro de ellos equivale al cuadrado de los contados hasta allí, multiplicado por el primero. La diferencia no es uniforme, sino progresiva, consistiendo en los términos correspondientes de la primera progresión, que se añaden como sigue: 1, $1+3=4$, $4+5=9$, $9+7=16$, $16+9=25$. . . . . El número de sus términos es el mismo de las dos anteriores progresiones. La suma tampoco tiene objeto.

45.—De la progresión de espacios con relación á capas de iguales pesos, á que aludí en el párrafo 13, daré después una idea más concreta, cuando trate de la temperatura en el aire.

46.—De lo expuesto hasta aquí, se deducen las leyes siguientes, que resumen toda la doctrina sobre la estructura de la atmósfera.

Ley primera.—Las densidades medias de las capas de aire, ó sus pesos singulares, á espacios iguales desde la cima de la atmósfera para abajo, crecen uniformemente con una diferencia igual al duplo de la densidad de la primera capa de arriba, esto es, como 1, 3, 5, 7. . . . .

Ley segunda.—Las densidades finales de las capas de aire, también á espacios iguales, crecen con una diferencia igual á su primer término, siendo éste el duplo del primero de la progresión á que se refiere la ley anterior; así, 2, 4, 6, 8, 10. . . . .

Ley tercera.—Los pesos de la atmósfera aumentan como el cuadrado de los espacios, esto es, como 1, 4, 9, 16.....

Ley cuarta.—Los espacios, contados desde los lindes del aire con el vacío, están como la raíz cuadrada de los pesos de la atmósfera; y cualquiera espacio dentro de ésta se halla como la diferencia de las raíces cuadradas de dichos pesos observados en uno y otro límite del mismo espacio.

47.—Réstame ahora consignar los resultados que he obtenido por medio de los cálculos precedentes, en expresiones algebraicas, combinándolas en la forma siguiente:

$$A=\frac{U}{2H-1}=\frac{2S}{H}-U=\frac{S}{H^2}=2S-U-2\sqrt{S(S-U)}=\frac{D}{2H}=D-U=\frac{D^2}{4S}.$$

$$D=A+U=2AH=\frac{2S}{H}=2\sqrt{AS}.$$

$$H=\frac{U}{2A}+\frac{1}{2}=\frac{D}{2A}=\frac{2S}{A+U}=\frac{2S}{D}=\sqrt{\frac{S}{A}}=\frac{A+U}{2A}.$$

$$S=AH^2=\frac{(A+U)^2}{4A}=\frac{D^2}{4A}=\frac{H(A+U)}{2}=\frac{DH}{2}.$$

$$U=A(2H-1)=\frac{2S}{H}-A=2\sqrt{\frac{S}{A}}-A=D-A.$$

Adviértase que la altura H puede también obtenerse por el método empleado en el párrafo 33.

48.—Hasta aquí he considerado la progresión aérea en toda su magnitud, contándola desde su origen en los lindes del vacío, hasta su fin en contacto con el mar, y á esa magnitud he referido la altura atmosférica, el primer término, el último, la densidad final y el peso del aire. Ahora me ocuparé de hacer igual averiguación respecto de cualquiera otro punto que no se halle al nivel del mar, en cuyo caso hay necesidad de dejar establecido, que en realidad se trata siempre de la misma progresión, pero trunca, debiendo contarse con deducción de la parte que corre desde la cima hasta el punto señalado. De consiguiente, para determinar sus elementos, se pueden usar las mismas fórmulas empleadas para la determinación de los de la columna atmosférica íntegra, teniendo en cuenta la indicada deducción, y cambiando nomás las letras D, H, S y U por las minúsculas respectivas, en la inteligencia que, entonces, cortada la progresión á la altura *h*, la parte que le queda de allí para arriba será representada por H—h, y que el primer término A queda inalterable, por hallarse en la cúspide de la serie, fuera del alcance de los cambios que envuelve el problema. Así, pues, haciéndose las sustituciones correspondientes en las fórmulas del párrafo anterior, obtendremos estas otras:

$$d=\mathrm{A}+u=2\mathrm{A}(\mathrm{H}-h)=\frac{2\,\mathrm{S}}{\mathrm{H}-h}=2\sqrt{\mathrm{A}s}.$$

$$h=\mathrm{H}-\frac{\mathrm{A}+u}{2\mathrm{A}}=\ \mathrm{H}-\frac{d}{2\mathrm{A}}=\ \mathrm{H}-\frac{2\mathrm{S}}{\mathrm{A}+u}=\ \mathrm{H}-\frac{2\mathrm{S}}{d}=$$
$$\left(\mathrm{H}-\sqrt{\frac{s}{\mathrm{A}}}=\mathrm{H}\frac{u+1}{\mathrm{U}+1}=\mathrm{H}\frac{d}{\mathrm{D}}\right..$$

$$s=\mathrm{A}\,(\mathrm{H}-h)^2=\frac{(\mathrm{A}+u)^2}{4\mathrm{A}}=\frac{d^2}{4\,\mathrm{A}}=\frac{(\mathrm{H}-h)(\mathrm{A}+u)}{2}=\frac{d(\mathrm{H}-h)}{2}.$$

$$u=\mathrm{A}\big(2(\mathrm{H}-h)-1\big)=\frac{2s}{\mathrm{H}-h}-\mathrm{A}=2\sqrt{\mathrm{A}s}-\mathrm{A}=d-\mathrm{A}.$$

49.—Hagamos aplicación de algunas de estas fórmulas á casos particulares. Primeramente, se desea saber á qué altura el peso de la atmósfera se reduce á la mitad de la que se observa al nivel del mar, y es de 103300 gramos: suponiendo, como se propone en la cuestión, que s es igual á la mitad de dicha cantidad, y refiriéndose el problema, por ejemplo, á la temperatura de 11°11 C. al pié de la columna, serán

$$h=\mathrm{H}-\sqrt{\frac{s}{\mathrm{A}}}=16629-\sqrt{\frac{51650}{0.0000037356}}=4871\text{ metros}=$$
(0.29 de la altura total.

Ahora, se pregunta en qué altura el peso de la atmósfera queda reducido á la tercera parte, y hallaremos:

$$h=\mathrm{H}-\sqrt{\frac{s}{\mathrm{A}}}=16629-\sqrt{\frac{34433}{0.0000037356}}=7018\text{ metros}=$$
(0.42 de la total.

Queriendo sacar la altura en que el peso quedará en la cuarta parte, veremos que es á la mitad de la total de la atmósfera, de la manera siguiente:

$$h=16629-\sqrt{\frac{25825}{0.0000037356}}=8314\text{ metros}=0.50\text{ de la}$$
(total.

50.—Veamos en seguida, en qué altura quedará reducida á la mitad la densidad del aire frontero al mar, que en el caso propuesto es $\mathrm{D}=\mathrm{A}+\mathrm{U}=1.2424037356$; y como suponemos que esa densidad debe ser la mitad, esto es, 0.6212018678, resultará, según una de las fórmulas anteriores,

$$h=\mathrm{H}-\frac{d}{2\,\mathrm{A}}=16629-\frac{0.6212018678}{0.0000074712}=8314\text{ metros.}$$

Lo cual quiere decir, que á la mitad de la altura se obtendrá la mitad de la densidad, siendo así que á igual altura sólo existe la cuarta parte del peso de la atmósfera, como se ha visto en el ejemplo anterior.

51.— Si se quieren obtener las alturas por medio del peso de la atmósfera, que con tanta exactitud indica el barómetro, hallaremos la fórmula relativa de la manera siguiente: En la fórmula $H=\sqrt{\frac{S}{A}}$ tómese, en vez del peso total S, la parte $\frac{p}{P}$ que indique aquel instrumento, significando P el peso total del azogue, igual siempre al de la columna aérea al nivel del mar, y p el peso del mismo en cualquiera elevación $H-h$. Haciendo la sustitución correspondiente, obtendremos la reforma de la ecuación así:

$$H-h=\sqrt{\frac{pS}{AP}},$$

y despejando h, será

$$h=H-\sqrt{\frac{pS}{AP}}.$$

Siendo $H=\sqrt{\frac{S}{A}}$, sustituyendo, hallaremos

$$h=H-H\sqrt{\frac{p}{P}}=H\left(1-\sqrt{\frac{p}{P}}\right)$$

De aquí resulta, que usando del barómetro de escala milimétrica, se obtiene la altura por medio de la siguiente fórmula más concreta:

$$h=H\left(1-\frac{\sqrt{p}}{27.568}\right) \qquad (1)$$

Si el barómetro tiene escala de pulgadas inglesas,

$$h=H\left(1-\frac{\sqrt{p}}{5.477}\right) \qquad (2).$$

52.—Y para obtener en diferentes alturas las densidades del aire, que son como la raíz cuadrada de las indicaciones barométricas, llamando D á la que se calcule al pié de la columna de aire al nivel del mar, y d á la que se busca, tendremos

$$d=D\sqrt{\frac{p}{P}}$$

53.—Tratándose de alturas comparadas, si en las fórmulas (1) y (2) del párrafo 51 hacemos uso de p' para significar el peso del aire en la estación más alta, y de p en la más baja, tendremos también en medidas métricas é inglesas:

$$h=H\left(1-\frac{\sqrt{p'}}{27.568}\right)-H\left(1-\frac{\sqrt{p}}{27.568}\right)$$

$$h=H\left(1-\frac{\sqrt{p'}}{5.477}\right)-H\left(1-\frac{\sqrt{p}}{5.477}\right)$$

y reduciendo, resultan respectivamente

$$h=(\sqrt{p}-\sqrt{p'})\frac{H}{27.568}$$

$$h=(\sqrt{p}-\sqrt{p'})\frac{H}{5.477}.$$

54.—En las fórmulas precedentes hay siempre la necesidad de averiguar la altura total H, contada desde el nivel del mar, y correspondiente á la atmósfera en el punto en que se opere, lo que á menudo ofrecerá dificultad. En la parte segunda de este opúsculo, en que debo desarrollar mi teoría sobre la distribución del calor en la atmósfera, propondré una fórmula, que no exige más que la indicación del termómetro y del barómetro en cualquiera parte de la columna aérea, para dar la altura correspondiente al punto de observación, y aun la de toda la columna.

CAPÍTULO V.

DIFERENCIA ENTRE LA DENSIDAD Y EL PESO DE LA ATMOSFERA: FORMULA ERRONEA DE MR. LAPLACE PARA CALCULAR ALTURAS: EJEMPLOS DE ALGUNAS DE ESTAS EXAGERADAS: DIAGRAMA DE LAS PROGRESIONES ATMOSFERICAS.

55.—Aquí es el momento oportuno para tratar de dos puntos, cuya dilucidación habrá de contribuir en gran manera á poner en perfecta claridad mi teoría sobre la conformación de la atmósfera. El primero es la explicación de por qué la densidad del aire, que debe ser el resultado de la presión, no crece en razón del peso de las capas aéreas superpuestas, cuestión que hasta hoy ha sido el tormento de los físicos, induciéndolos con justicia aun á dudar del influjo de la ley de Mariotte en este caso de presiones de gases por gases. El segundo es la medida de las alturas por el barómetro con la fórmula que hasta ahora se ha usado para ese efecto con más crédito, la cual, sin embargo, da un resultado que continuamente debe exceder más y más del positivo, conforme las alturas vayan siendo mayores.

56.—En cuanto al primero, es preciso convenir en que la densidad de cada capa no crece en la misma proporción que el peso de las superiores que sobre ella gravitan.