

se llega á los siguientes resultados con respecto al espesor de las capas de aire para diversas alturas del sol.

Altura sobre el horizonte	Distancia al zénit	Espesor de las capas de aire
90°	0°	1 00
70	20	1 06
50	40	1 30
30	60	1 99
20	70	2 90
15	75	3 80
10	80	5 51
5	85	10 21
4	86	12 15
3	87	14 87
2	88	18 88
1	89	25 13
0	90	35 50

Vése, pues, que si se representa por 1 el espesor de la atmósfera atravesada por un rayo de sol en el zénit, el espesor atravesado por los rayos del mismo astro en el horizonte es mas de 35 veces mayor. Esta diferencia es mucho mas considerable de lo que puede indicarse en una figura de demostracion como la siguiente (fig. 101).

El primer resultado de esta desigualdad es que la luz del sol se debilita tanto mas cuanto mas oblicuo sobre la vertical se halle el astro del dia. En el zénit y en las alturas del cielo el sol es deslumbrador y no hay ojo humano capaz de soportar su brillo. Cuando sale ó se pone, podemos fijar nuestras miradas en su disco enrojecido sin quedar cegados. Las estrellas no son visibles mas que hasta cierta altura, percibiéndose únicamente la salida y la puesta de las de primera magnitud. Segun los estudios de Bouguer, si se representa por 10,000 la intensidad luminosa del sol fuera de la Atmósfera, la que tiene en diferentes puntos sobre el horizonte está representada por las siguientes cifras:

En el zénit	8123
A 50 grados	7624
A 30 »	6613
A 20 »	5474
A 10 »	3149
A 5 »	1201

A 4 grados	802
A 3 »	454
A 2 »	192
A 1 »	47
A 0 »	6

Es decir, que el sol, cuando sale ó se oculta, parece 1354 veces menos brillante que en el zénit y 1300 veces menos que en su altura de medio dia sobre nuestro horizonte en el solsticio de estio. Hay que ad-

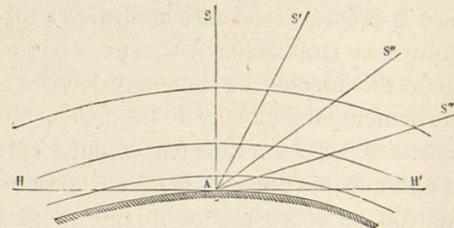


Fig. 101.—DESIGUALDAD DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DE AIRE ATRAVESADO POR EL SOL SEGUN SUS POSICIONES

vertir que estas comparaciones suponen un cielo puro, y que, por consiguiente, varían segun el estado mas ó menos brumoso de la Atmósfera.

El calor varía con arreglo á la oblicuidad, del mismo modo que la luz. Las observaciones mas exactas nos demuestran que la Atmósfera absorbe, segun la vertical, los $\frac{28}{100}$ del calor que cae sobre su superficie, y que la absorcion total en el hemisferio iluminado es casi igual á los $\frac{3}{5}$ del calor incidente, de suerte que la parte transmitida á las diferentes alturas está representada como sigue:

Altura	Cantidades transmitidas
En el zénit.	0 72
A 70 grados.	0 70
A 50 —	0 64
A 30 —	0 51
A 10 —	0 16
A 5 —	0 00

Fácilmente se vé por el pequeño corte de la figura 102 que la absorcion es considerable para el horizonte H ó H' de los observadores B y C, para los cuales el sol sale

y se pone, y débil para el zénit del punto A.

Hemos visto hace poco que no es el aire mismo, es decir, la mezcla formada por los gases oxígeno y nitrógeno, el que mas calor absorbe, sino el vapor de agua existente en aquel, en proporciones variables por demás.

Los rayos luminosos pasan casi por completo y penetran hasta el suelo; los calorificos quedan, por el contrario, absorbidos en gran proporcion. Mas si la Atmósfera impide que una buena parte del calor solar llegue á la superficie de nuestro globo, en cambio goza de la propiedad de retener el que ha llegado á calentarla. Como sin la Atmósfera y sin el vapor de agua la irradiacion del suelo se efectuaría sin obstáculo hácia el espacio interplanetario, la pérdida sería enorme, conforme á lo que sucede en

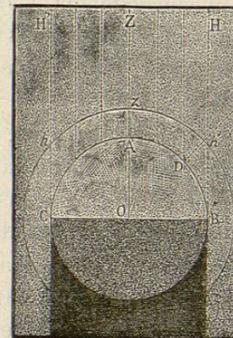


Fig. 102.—ABSORCION DEL CALOR SOLAR POR LA ATMÓSFERA

las altas regiones. Tan luego como se pusiera el sol, un rápido enfriamiento sucedería al calor intenso de los rayos directos de dicho astro; en una palabra, habria diferencias inmensas entre los máximos y mínimos de temperatura, tanto diarios como mensuales. Esto es lo que sucede en las mesetas elevadas del Thibet, y lo que explica el rigor de los inviernos y el descenso de las líneas isotérmicas en aquellas regiones. Tyndall dice con mucha exactitud: «La supresion, durante una sola noche, del vapor de agua contenido en la atmósfera que

cubre á Inglaterra (y otro tanto puede decirse con respecto á los países de zonas semejantes), iria acompañada de la destruccion de todas las plantas que helaria la escarcha. En el Sahara, donde el terreno es de fuego y el viento de llama, el frio de la noche es á menudo insoportable. En aquella abrasada region, suele formarse el hielo durante la noche.»

La distribucion de la humedad no guarda proporcion en toda la altura de la Atmósfera, y ya tendremos ocasion de ver en el libro V que disminuye al pasar de cierta elevacion. El calor atraviesa tanto mejor el aire cuanto menos húmedo es este, que se queda frio al dejar pasar el calor.

Quando se han traspasado las regiones inferiores de la Atmósfera, y por lo general la altitud de 2,000 metros, no se puede menos de advertir el acrecentamiento sensible del calor del sol relativamente á la temperatura del aire ambiente. Jamás me ha impresionado esta circunstancia tanto como en la ascension aeronáutica que hice el 10 de junio de 1867, cuando, hallándonos á las siete de la mañana á 3,300 metros de altura, tuvimos por espacio de media hora 15 grados de diferencia entre la temperatura de nuestros piés y la de nuestras cabezas, ó mejor dicho, entre la temperatura del interior de la navecilla (sombra) y la del exterior (sol). El termómetro marcaba á la sombra 8 grados, y al sol, 23. Mientras nuestros piés sentian este frio relativo, un sol ardiente nos quemaba el cuello, la cara y todas las partes del cuerpo expuestas directamente á la irradiacion solar.

El efecto de este calor era tanto mas sensible cuanto que no se percibia la mas ligera corriente de aire.

En una ascension posterior á la citada, experimenté al mismo tiempo la diferencia singular de 20 grados entre la temperatura de la sombra y la del sol, á 4,510 metros de altitud. El primer termómetro marcaba 9°,5 bajo cero; el segundo, 10°,5. Este hecho, sin embargo, me llamó menos la



atencion que el primero, porque ya habia aprendido á estudiarlo.

La diferencia entre la relacion de la temperatura del aire y la del cuerpo expuesto al sol se indica y se manifiesta en razon del descenso de humedad. La irradiacion solar, la diferencia entre el calor recibido directamente del astro radiante y la temperatura del aire, *aumenta* á medida que *disminuye* la cantidad de vapor de agua diseminado por la Atmósfera. Esta comprobacion permanente de la transparencia del aire privado de agua por el calor, demuestra que el vapor es el que desempeña el principal papel en la accion de conservar el calor solar en la superficie del suelo.

Semejantes resultados observados desde un globo, deben hallarse mas exentos de toda influencia extraña que los que proceden de observaciones hechas en las montañas, porque en este último caso, la presencia de las nieves y de la irradiacion tendrá un efecto constante, al paso que las observaciones aeronáuticas se verifican en regiones absolutamente libres.

La influencia de la altitud en la intensidad de la accion calorífica del sol, en los puntos cuyas proyecciones sobre el suelo están poco distantes entre sí, se ha estudiado recientemente con mucha atencion por M. Desains y un colaborador suyo, por una parte en Schweizerhoff, en Lucerna, y por otra en la fonda del Righi-Culm, á unos 1,450 metros sobre el lago. Estos experimentos han demostrado que á una misma hora, y en igualdad de circunstancias, la irradiacion solar era mas intensa en la cumbre del Righi que en Lucerna; pero tambien menos fácilmente transmisible á través del agua y del alumbre. Hé aquí los números que lo demuestran:

El lunes 13 de setiembre de 1869, á las 7 y 45' de la mañana, con un tiempo magnífico, la accion de los rayos solares imprimia en la cumbre del Righi una desviacion de 27°,2 á la aguja del aparato. En el mismo instante, otro aparato colocado en Lucerna

acusaba una desviacion de 22°,5. Expresando en centésimas este resultado, se viene en conocimiento de que al atravesar aquel dia los rayos solares, bajo un ángulo de unos 70 grados con la normal, la capa de aire comprendida entre el nivel del Righi-Culm y el de Lucerna, sufrían una pérdida de 17 por 100.

De estas consideraciones se desprende que las temperaturas terrestres no dependen exclusivamente de la cantidad de calor recibido del Sol, sino tambien, y sobre todo, de la diferencia de los *poderes absorbentes* del aire sobre los rayos de manantiales luminosos y oscuros. Otro tanto sucede con respecto á los demás planetas, siendo tal la influencia de las atmósferas, que Mercurio puede gozar, á pesar de su proximidad al Sol, de una temperatura análoga á la de la Tierra, si la capa de gas que le rodea está constituida en consecuencia, y Júpiter puede tener en su superficie climas tan cálidos como los nuestros, á pesar de su alejamiento del Sol.

El análisis espectral de la luz, que lee en el rayo descompuesto de una llama los elementos que la constituyen, inscritos con caracteres indelebles, ha podido determinar recientemente la naturaleza de las atmósferas planetarias. Examinando con el espectróscopo el rayo procedente de un fuego encendido á algunas leguas de distancia, se ha averiguado que el aire atravesado por dicho rayo, absorbe en parte la luz é interpone un velo, ó mejor dicho, un tegido de líneas diferentemente dispuestas, debidas al oxígeno las unas, las otras al nitrógeno, otras al vapor de agua, y otras al ácido carbónico, al amoníaco y al iodo. Este ingenioso método permite averiguar la cantidad de vapor de agua que existe en los sitios donde se hace el experimento. Del mismo modo, examinando el rayo procedente de otro planeta, como Vénus, Marte ó Júpiter, se advierte que los rayos solares que nos reflejan están modificados por un tegido de líneas dependientes de sus atmósferas atra-

vesadas por ellos. Así es como se ha comprobado la existencia, ya indicada astronómicamente, de atmósferas en la superficie de los planetas, y advertido además que hay vapor de agua en los tres que acabo de nombrar. Estos resultados se deben especialmente á los ingeniosos trabajos de mi sábio colega Janssen. En Júpiter y en Saturno se ha observado además la indicacion incomprensible de un elemento gaseoso que no existe en nuestra atmósfera.

El vapor de agua diseminado por la atmósfera desempeña el principal papel bajo el punto de vista de la distribucion de la temperatura. En la atmósfera tranquila que circunda á la tierra, existe sin cesar una accion lenta y silenciosa que se desarrolla invisible ante nuestros ofuscados ojos, y que es tan formidable que no hay cálculo humano capaz de representarla. El oxígeno y el nitrógeno no son nada, comparados con la obra permanente de esta potencia, y los millones de toneladas de ácido carbónico que arden en la vida vegetal y animal desaparecen cual ligera sombra.

Vapor de agua ligero y trasparente que se eleva desde el límpido lago, neblina que flota sobre los mares, rocío de la mañana sobre las flores, blancas ó anaranjadas nubes del cielo, lluvia ó nieve, torrente de la montaña, manantial murmurador en el seno de los bosques, parlero arroyuelo ó gigantesco rio que atraviesa las naciones: desde la cálida fuente mineral hasta el glaciador suspendido de la frente de los Alpes, desde la pequeña gota de agua que atrapa la golondrina al pasar rozando sobre el rio hasta el negro y horrible nubarron preñado de relámpagos; todo este conjunto, todo este vasto sistema de la circulacion del elemento líquido por la superficie del globo, representa el trabajo de una fábrica fantástica, del cual solo nos darian una vaga idea los del pandemonium de Vulcano, en las profundidades del Tártaro. Representémosnos á la Francia surcada por innumerables rios que pongan en movimiento millones de

molinos, cubierta de una apiñada red de caminos de hierro por los que circulen noche y dia millares de locomotoras, y todo el ruido, toda el movimiento, todo el trabajo desempeñado por esos molinos y por esas máquinas infatigables no seria mas que un juego de niños comparado con el trabajo llevado á cabo por la naturaleza en el sistema de circulacion de las aguas.

Ya hemos conocido mas arriba cuál es el trabajo operado por la simple evaporacion del agua de los mares bajo la accion de los rayos del sol: hemos visto que la masa de agua evaporada se eleva á 721 billones de metros cúbicos (721.000.000.000.000).

La enorme cantidad de calor que produce este efecto podria fundir en un año once mil millones de metros cúbicos de hierro, es decir, una masa cuyo volúmen seria muchas veces mayor que el de los Alpes!

Tal es el trabajo gigantesco debido á la fuerza del calor solar; pero el infinitesimal que se efectúa en virtud de la misma causa infatigable no es menos maravilloso.

En la naturaleza entera se verifica incessantemente un movimiento perpétuo, movimiento que pasa desapercibido ó á lo menos nadie se ocupa de él; y sin embargo, es tan considerable, que si nuestros sentidos pudiesen percibirlo quedaríamos verdaderamente asustados. A cada momento mil choques de intensidad variable vienen á herir nuestro cuerpo.

Si nos hallamos en el campo, en medio de una pradera ó en la ladera de un monte poblado de árboles, el aire, que jamás está quieto, constituye en el estado de viento un primer movimiento general que nos baña con su vasto efluvio. El calor solar, ó simplemente la temperatura ambiente, levanta en nuestro derredor capas de densidades diferentes que se suceden segun las leyes del calor.

La luz hace cruzar por delante de nosotros, á través de nuestros ojos, detrás de nosotros, sobre nuestras cabezas, en todos sentidos, millares de rayos que obran sobre el

éter invisible por medio de vibraciones tan rápidas, que cada segundo contiene millones de ellas por un solo rayo, y esto incesantemente. Los colores de los objetos que nos rodean, de las plantas, de las flores, del cielo, de las aguas, cruzan entre sí sus fluctuaciones rápidas é innumerables. Los ruidos, lejanos ó próximos, desarrollan en los aires las ondas sonoras sucesivas que, semejantes á círculos, describen mil curvas invisibles, entremezcladas, pero no confundidas. El ave que canta, la bellota que cae de la secular encina, el leñador que golpea los árboles con su hacha, la lavandera que lava en el río, son otros tantos centros de movimientos ondulatorios. Hasta el mismo calor de nuestro cuerpo forma en nosotros un centro de irradiación, y de toda nuestra persona se escapan incesantemente cantidades indefinidas de calor, que se marcarían sin duda alguna en el termómetro. Por otra parte, si nos fijamos en nuestro organismo, vemos que los latidos del corazón no cesan un solo segundo, que la circulación de la sangre en nuestras arterias; y su vuelta al corazón por las venas se perpetúa fatalmente, y que en virtud del movimiento alternativo de nuestra respiración, los pulmones se ocupan en distribuir por nuestro cuerpo la cantidad de oxígeno que necesita.

Si estamos en nuestra habitación, muéllamente reclinados en una butaca, con los piés en los morillos de la chimenea y un libro en la mano, vemos también que en torno nuestro y dentro de nosotros se efectúan los mismos movimientos que acabamos de citar. No podemos estirar las piernas sin que entre nuestro pié y la leña de la chimenea resulte un sistema de movimientos invisibles. No podemos apoyar un dedo en el teclado del piano sin que vuele por la habitación una serie de ondas sonoras (y á veces á grandes distancias con disgusto de los vecinos). No sé puede siquiera hablar en voz baja sin que mil vibraciones esféricas atraviesen el aire. Y en tanto vivimos

sin advertirlo en medio de millares de millares de movimientos constantemente efectuados é incesantemente renovados en la Atmósfera, en cuyo seno respiramos, vivimos y nos movemos.

Si la naturaleza, dice A. de Humboldt, hubiese dotado á nuestros ojos de la potencia del microscopio, y de una transparencia perfecta á los tegumentos de las plantas, el reino vegetal estaría muy lejos de ofrecer el aspecto de inmovilidad que en nuestro concepto es uno de sus atributos. Las corrientes mas diversas recorren y vivifican incesantemente el tejido celular de los órganos por su parte interior. Tales son las corrientes de rotación que suben y bajan, ramificándose y cambiando continuamente de dirección, y tal el hormigueo molecular, descubierto por el gran botánico Roberto Brown, y del que debe presentar algún vestigio toda materia, con tal que se halle reducida á un estado de división extrema. Añádanse á estas corrientes y á esta agitación molecular, los fenómenos de la endósmosis, de la nutrición y del crecimiento de los vegetales, así como las corrientes formadas por los gases interiores, y se tendrá una idea de las fuerzas que influyen, casi sin saberlo nosotros, en la vida, tan apacible en la apariencia, de los vegetales.

Así es como trabaja sin tregua ni descanso el calor solar absorbido por el aire atmosférico bajo el cual respira este planeta.

Después de haber apreciado la obra del calor solar á través de la Atmósfera y en la superficie del globo, tócanos ahora completar esta primera y rápida ojeada, observando que la potencia de dicho calor disminuye á medida de la elevación hacia las alturas de la capa atmosférica, porque hallándose esta cada vez mas enrarecida, ya no lo conserva ni utiliza. Hemos visto (páginas 30 y 31) que el aire disminuye á medida que uno se eleva en su seno. La temperatura decrece en una proporción análoga, que vamos á medir tan exactamente como nos sea posible, según lo he-

mos hecho ya con respecto á la presión atmosférica. A las indicaciones del barómetro, deben seguir las del termómetro.

Al remontarse en un globo á través de un cielo nebuloso, la temperatura decrece por lo general hasta que se llega á las nubes; una vez pasadas estas, obsérvase siempre una elevación de algunos grados, y luego aquella baja de nuevo. Al elevarse estando el cielo despejado, la temperatura inicial es, en igualdad de circunstancias, mas elevada que en el caso anterior, midiéndose la diferencia poco mas ó menos por la elevación que se observa al salir de las nubes. Nunca es absolutamente regular la disminución de calor; casi siempre se encuentran en la Atmósfera capas de aire caliente, á veces en número de cuatro ó cinco sucesivas hasta grandes alturas. Estas alternativas, lo mismo que esta variabilidad del cielo, no impiden que se manifieste un caso general: el del decrecimiento de la temperatura á medida de la elevación.

Hé aquí el resultado de la serie de observaciones que he hecho con respecto á este asunto en mis seiscientas leguas de viajes aeronáuticos:

«El descenso de la temperatura del aire, que tan gran papel desempeña en la formación de las nubes y en los elementos de la meteorología, está muy lejos de seguir una marcha regular y constante. Varía según las horas, las estaciones, el estado del cielo, el origen de los vientos, el estado del vapor de agua, etc. Tan sólo después de un gran número de observaciones se podrá formular una regla determinada, pues ante todo es preciso conocer y eliminar la acción de una porción de causas secundarias que influyen en dicho descenso.

«Resulta de 550 observaciones aerostáticas, hechas en medio de tan desemejantes condiciones, y sin embargo, no tan malas como las de las observaciones verificadas en las montañas, resulta, repito, que el descenso de la temperatura del aire difiere

según que el cielo esté despejado ó cubierto: es mas rápido en el primer caso, y mas lento en el segundo.

»Con un cielo sereno, se ha observado que la disminución de la temperatura era de 4° á los 500 primeros metros á partir de la superficie del suelo; de 7° á los 1,000 metros; de 10°,5 á los 1,500; de 13° á los 2,000; de 15° á los 2,500; de 17° á los 3,000, y de 19° á los 4,500, resultando un término medio de 1 grado por 189 metros.

»Con un cielo nebuloso, se ha visto que la disminución de la temperatura era de 3 grados á los 500 primeros metros; de 6 grados á los 1000; de 11°,5 á los 2000; de 16 á los 3000; de 18 á los 3500, y por término medio, de 1 grado por cada 194 metros.

»La temperatura de las nubes es superior á la del aire situado encima y debajo de ellas.

»La disminución es mas rápida en las regiones inmediatas á la superficie del suelo, y va haciéndose mas lenta á medida que el observador se eleva.

»Es mas rápida por la tarde que por la mañana, y también lo es mas durante los días calurosos que durante los fríos.

»Encuéntrense á veces en la Atmósfera regiones mas calientes ó mas frías que el término medio de la altitud, las cuales la atraviesan á la manera de ríos aéreos, pero estas variaciones no impiden que la ley enunciada mas arriba sea la expresión de la realidad.

»La diferencia entre las indicaciones del termómetro expuesto á la sombra, y las del expuesto al sol aumenta á medida que el observador se eleva en las alturas de la Atmósfera.»

Ahora bien; el resultado general de estas ascensiones aéreas se reduce á que la temperatura general decrece un grado por 191 metros próximamente, poco mas, poco menos.

El resultado de las célebres y numerosas observaciones aerostáticas de Glaisher difiere muy poco del precedente.