

Basta para esto calcular el efecto total que produciría el calor del espacio si se virtiese por completo en derretir hielo. En un año, la cantidad de hielo derretido no sería inferior á la de una capa de 26 metros de espesor que rodease á toda la Tierra. Hemos visto que el calor del Sol fundiría en el mismo tiempo una capa de hielo de 31 metros. Por consiguiente, la energía de la radiación estelar llega á los cinco sextos de la de la radiación solar. "Causará sin duda extrañeza, dice Pouillet al consignar estas cifras, que el espacio, con la temperatura de -142° , pueda dar á la Tierra tan considerable cantidad de calor que resulta ser casi igual al promedio de calor que recibimos del Sol; á primera vista, parecen estos resultados tan contrarios á la opinión que se tiene, ya sea del frío del espacio, ó ya de la potencia del Sol, que tal vez se los considerará inadmisibles. Hay que observar sin embargo que, con respecto á la Tierra, el Sol ocupa las 5 millonésimas de la bóveda celeste, y por consiguiente que debe enviar doscientas mil veces más cantidad de calor para producir el mismo efecto."

IV

CALOR EMITIDO Á LA TIERRA POR LA LUNA

¿La Luna ejerce una influencia calorífica apreciable sobre la Tierra? Esta cuestión ha sido objeto de muchos trabajos, cuyos resultados vamos á indicar rápidamente. Un fisico italiano, Montanari, fué según Zantedeschi el primero que reconoció en 1685 la influencia calorífica lunar, y un siglo después, otro italiano, Paolo Frisi, vino á parar al mismo resultado; ambos se valían de lentes y espejos para concentrar los rayos del astro en la bola de un termómetro. En la primera de las citadas fechas los termómetros eran aún muy poco sensibles, de suerte que la observación de Montanari apenas puede inspirar confianza. Casi hacia al mismo tiempo, Tschirnhausen no pudo notar efecto sensible en la radiación lunar con una lente de 33 pulgadas de diámetro, bastante poderosa para fundir metales por la concentración de los rayos solares. Lahire hijo no fué más afortunado en 1705. "Expuso, dice Lalande, el espejo cóncavo del Observatorio, que tiene 35 pulgadas de diámetro, á los rayos de la Luna llena, cuando pasaba por el meridiano en octubre de 1705, y reunió estos rayos en un espacio 306 veces más reducido que en el estado natural; á pesar de lo cual esta luz concentrada no produjo el menor efecto en el termómetro de Amontons, que era muy sensible."

Hagamos también mención de otros experimentos asimismo infructuosos de Peçlet y Prevost, que han observado, por el contrario, un descenso de temperatura; de Forbes, que operaba con un termomultiplicador y una lente que concentraba 6,000 veces; de Tyndall, que atribuye el malogro de sus tentativas á la atmósfera inestable de Londres.

El primer experimento decisivo de esta cuestión interesante de física celeste es de Melloni y data de 1846. Merece que lo reproduzcamos con todos sus detalles, tomándolos del texto mismo del autor, porque nos hará comprender qué precauciones se necesitan, en observaciones tan delicadas, para evitar las causas de error dimanadas de fenómenos accidentales.

"Acababa yo de recibir una lente de escalones, de un metro de diámetro, construída por M. Lepaute, y destinada al observatorio meteorológico del Vesubio. Para estudiar sin riesgo el ajuste de sus varios anillos así como la distancia y extensión del foco, expuse este magnífico instrumento de óptica á la clara luz de la Luna, y puse la lente,

merced al doble movimiento de rotación de que es susceptible, en un plano exactamente perpendicular á la dirección de los rayos. La luz que daba en la superficie de la lente se concentró, á cosa de un metro de distancia, en un espacio circular de un centímetro de diámetro. Al ver este circulito brillante y perfectamente limitado, y de un tamaño igual ó poco menos á la sección de los tubos que guarnecen mis pilas termoscópicas, ocurrióseme la idea de probar qué acción ejercería en ellas. Hice al punto los preparativos necesarios para efectuar el experimento, y noté que tan luego como los rayos penetraron en el interior del tubo y dieron en la cara exterior del aparato, sobrevino una desviación considerable en el reómetro multiplicador. Asombrado de la vivacidad de esta acción, y sospechando que dimanase del calor lunar, puse la mano delante y á cierta distancia de la abertura, y el índice del reómetro volvió al punto á cero, pasó de él, y tomó una desviación contraria, prueba evidente de que su movimiento primitivo derivaba de un rayo *frigorífico*, es decir, de un descenso de temperatura en la cara de la pila expuesta al foco. Fácil era asignar el origen de este frío. Como la lente estaba en una galería descubierta y el cielo enteramente despejado, á causa del gran poder emisivo del vidrio debía radiar su calor en abundancia hacia el espacio y descender su temperatura bajo la de la pila, que estaba metida en su estuche metálico y dentro de la habitación. Mientras la pila estaba tapada, la débil radiación de su cubierta de metal impedía que experimentara la influencia del frío de la lente; mas no bien se bajaba la cubierta, mediaba un cambio calorífico entre los dos cuerpos, y perdiendo la pila más de lo que recibía, debía forzosamente bajar la temperatura de su cara destapada y producir así la corriente eléctrica que ocasionaba la desviación de la aguja del reómetro. Para obviar este inconveniente, trasladé la lente detrás de la vidriera que daba á la galería, y puse una cortina de esterilla que se podía levantar fácilmente, con objeto de dar paso á los rayos lunares dentro de la habitación, ó bajarla para interceptarlos. Tuve la cortina echada hasta que se restableció el equilibrio de temperatura, y después de cerciorarme de que la aguja del reómetro no se desviaba cuando se bajaba la tapa de la pila, la cual seguía ocupando el foco de la lente, di paso hasta el instrumento á la luz de la Luna; al punto observé una desviación de varios grados hacia la parte del calor. En seguida repetí el experimento y vi con gran sorpresa que la desviación ocurría en sentido contrario.

"Bástome reflexionar algunos momentos para convencerme de que estos cambios de dirección dimanaban, según toda probabilidad, de las bocanadas de aire exterior que de vez en cuando entraban en la habitación, llegando hasta la cara descubierta del cuerpo termoscópico. Fácilmente hubiera podido disponer las cosas de modo que el aire no tuviera acceso hasta la lente, pero, guiado por la teoría de la identidad (del calor y la luz), y por el conocido experimento de Saussure relativo al termómetro situado en el fondo de una caja de paredes de vidrio, creí conseguir mejor el objeto introduciendo en el tubo dos diafragmas de vidrio perfectamente diáfanos y lisos en sus cuatro caras, el primero á corta distancia de la pila y el segundo muy cerca de la abertura. Monté, pues, de esta manera los tubos de mi pila, y á la primera ocasión favorable repetí el experimento. El índice del aparato se quedó al pronto estacionario algunos instantes; luego empezó á desviarse poco á poco, y á los cuatro ó cinco minutos se detuvo de un modo estable en un arco de $3^{\circ},7$. Retiré la pila del foco y la puse á un lado, con la abertura vuelta siempre hacia el centro de la lente; al punto empezó á disminuir la desviación, y pocos minutos después el índice volvió al cero. Reproduje muchas veces esta misma operación, retirando la pila ora á uno, ora á otro lado, y la

aguja se desvió siempre estando en el foco y volvió á cero fuera de él. Es inútil decir que la dirección de esta desviación correspondía con la de la acción calorífica.

„El experimento era, pues, perfectamente claro y no dejaba el menor asomo de duda. Y en efecto, tuve ocasión de repetirlo más adelante en presencia de M. Belli, profesor de física en la universidad de Pavía, de MM. Mossotti y Lavagna, de la de Pisa, y de otros muchos profesores distinguidos, todos los cuales salieron de mi gabinete plenamente convencidos de que la luz de la Luna es calorífica.

„Cuando pienso que los físicos que intentaron descubrir el calor lunar en el transcurso del siglo pasado se valieron, según Lalande, de lentes de un metro y 1^m,33 de diámetro y del termoscopio sumamente sensible de Amontons, sospecho que los resultados negativos anunciados por dichos físicos dependían en gran parte del frío engendrado en sus lentes por la radiación celeste unida al enfriamiento causado por las agitaciones del aire al que estaban expuestos sus instrumentos: de suerte que no desconfío del todo de hacer el fenómeno ostensible con los termoscopios de dilatación ordinaria.

Los experimentos de Zantedeschi, Piazzi Smyth, lord Ross, y los más recientes de Marié-Davy y Baille, han confirmado los de Melloni. Zantedeschi (1848) concentraba los rayos lunares en una pila termoeléctrica por medio de un espejo de 60 centímetros de diámetro y 19 de distancia focal. Piazzi Smyth efectuó sus observaciones en 1856 en la cumbre del Pico de Tenerife, recibiendo directamente los rayos lunares en la pila cuya cara estaba provista de un cono de metal bruñido; este físico compara el efecto obtenido al tercio del de los rayos de una bujía situada á 4^m,75 de la pila. Lord Ross operó con un reflector de tres pies de abertura, deduciendo de sus resultados que la Luna radia como una superficie calentada á 360° Fahrenheit ó 182° centígrados.

En 1868, Marié-Davy empleó primero un termómetro diferencial de aire, graduado de manera que una de sus divisiones correspondiese á 0°,0042, y concentró los rayos lunares en una de las bolas con el auxilio de una lente de cerca de un metro de abertura, sin obtener efecto alguno apreciable. Reemplazando entonces el termómetro con una pila eléctrica de gran sensibilidad y la lente con la ecuatorial de 9 pulgadas del Observatorio de París, obtuvo las indicaciones siguientes:

| FECHAS | Edad de la Luna | D. sviación en grados |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| 9 de octubre de 1869. | 4.º día | 0°,00017 |
| 10 — | 5.º día | 0°,00013 |
| 12 — | 7.º día | 0°,00075 |
| 12 — | id. | 0°,00029 |
| 17 — | 12.º día | 0°,00260 |
| 20 — | 15.º día | 0°,00287 |

Como se ve, los efectos caloríficos iban creciendo con la edad de la Luna. La disminución que marca la segunda observación del 12 de octubre consiste en que la Luna se hallaba á la sazón muy próxima á un horizonte brumoso. Para conocer el efecto directo de la radiación lunar, hay que dividir los números de la tercera columna por 247, que es el poder de concentración de la ecuatorial calculado para la hipótesis en que las 75 centésimas de la luz que daba en el objetivo llegasen hasta la pila. „La desviación obtenida el 20, dice Marié-Davy, correspondería entonces á 12 millonésimas de grado para los rayos luminosos directos de la Luna: es casi la sexagésima parte del resultado obtenido por Piazzi Smyth en el Pico de Tenerife, operando sobre la totalidad de los rayos lunares.

Marié-Davy hace observar además, según acabamos de decir, que el calor luminoso de la Luna crece rápidamente con su fase, y añade que la altura del astro y el estado del cielo, aun sin nube alguna, influyen mucho en su intensidad. Cuida de distinguir entre el calor luminoso del astro que comprende todos los de los rayos solares que, después de dar en la superficie de la Luna, son reflejados por ella, y el calor oscuro que se compone de dos clases de rayos oscuros: los que proceden de la radiación solar y los que emanan directamente de la superficie caldeada del suelo de la Luna. Sábese, en efecto, que el calor oscuro es absorbido en proporción mucho mayor que el



luminoso, en su trayecto común al través de las capas atmosféricas y de las lentes de vidrio del instrumento. Observando Piazzi Smyth en el Pico de Tenerife, es decir, á una altitud superior á las capas más absorbentes, y recibiendo directamente en su pila los rayos solares, evitaba estas dos causas de atenuación, lo cual explica los efectos mucho más considerables obtenidos por dicho físico.

M. Baille ha comprobado una desviación sensible, dimanada de la acción calorífica de la radiación lunar, concentrando los rayos en el foco de un espejo cóncavo de 39 centímetros de abertura. Este físico calculó que para obtener la misma desviación presentando delante de la pila un cubo de agua hirviendo de cara ennegrecida, había que ponerlo á 34 ó 35 metros de distancia. De aquí dedujo que en París la Luna llena envía al suelo, durante los meses de verano, tanto calor como una superficie negra á 100°, del mismo tamaño aparente que el disco del astro y situada á 35 metros de distancia.

Así pues, los experimentos de Melloni, Smyth, lord Ross, Marié-Davy y Baille demuestran, sin ningún género de duda, que en la superficie de la Tierra se siente la acción calorífica de la Luna.

No se sabe con exactitud cuál es la naturaleza de los materiales que componen el suelo lunar; pero, cualquiera que sea, es probable que tenga alguna analogía con la de las rocas terrestres. No hay sin embargo que olvidar que la Luna no tiene atmósfera ó, si tiene alguna, que está extraordinariamente enrarecida; de todos modos, el cielo está allí siempre enteramente despejado, y por lo tanto la radiación solar se efectúa en la Luna con gran intensidad. Aun suponiendo que el suelo lunar sea de gran poder difusivo, el absorbente debe producir en cada punto una elevación de temperatura considerable, si se tiene en cuenta que los rayos del Sol le hieren sin interrupción por espacio de 350 horas en cada intervalo de una lunación. Sir John Herschell opinaba que esta temperatura era muy superior á la del agua hirviendo. Según los cálculos de Harrison, llega á su máximo durante el cuarto menguante. Comparando Althaus la capacidad que tiene la Luna para el calor con la del cuarzo, estimaba aproximadamente su temperatura en 840° F, ó 449° centígrados, que es la de fusión del cinc. Si el calor así acumulado, en razón de la naturaleza de sus radiaciones, apenas es perceptible en la superficie del suelo de la Tierra, falta saber si su absorción por nuestra atmósfera es capaz de modificar el estado del tiempo; pero de esto nos ocuparemos cuando estudiemos los fenómenos meteorológicos.

Para acabar de pasar revista á todos los manantiales de calor de origen cósmico que ejercen ó pueden ejercer alguna influencia en el estado térmico de nuestro globo, podríamos hacer también mención de los planetas, los cometas, los bólidos y las estrellas fugaces. La dificultad con que han tropezado los físicos para comprobar el efecto que producen los rayos caloríficos lunares, basta para que se comprenda cuán quimérico sería el tratar de averiguar la cantidad de calor extraordinariamente débil que reflejan hacia nosotros los discos planetarios, cuyas dimensiones son tan pequeñas y sus distancias á la Tierra tan grandes. Por lo que hace á los cometas, su luz parece producida en parte por una incandescencia propia de la materia de que están formados sus núcleos, y por consiguiente, en el caso de que su movimiento los trajese á muy corta distancia de nuestro globo, sería posible que se notara su proximidad en la temperatura de la Tierra; mas á pesar de cuanto se ha dicho de su influencia por este concepto, no se ha advertido aún ningún efecto sensible que pueda en rigor atribuirse á una acción calorífica especial. Las estrellas fugaces y los bólidos se hallan en diferente caso; son cuerpos que no se hacen visibles sino cuando penetran en nuestra atmósfera; á ello se debe sin duda su incandescencia, y únicamente en tal momento son para nosotros manantiales de calor. Es probable que en las grandes apariciones de estos meteoros, cuando en una misma noche cruzan á millares el espacio, esta brusca producción de calor en las altas regiones del aire sea bastante intensa para modificar la temperatura atmosférica. Pero todavía no sabemos de ninguna observación precisa sobre este punto de meteorología y de física celeste.

Por último, podríamos mencionar asimismo, como manantial propio para influir en la temperatura de la superficie del globo, el calor interior peculiar de éste. Sábese que á cierta profundidad hay una capa cuya temperatura constante es poco más ó menos la media del lugar. Debajo de esta capa la temperatura crece, siendo el promedio de su aumento de un grado por 30 metros. Si este aumento de calor, que se ha comprobado hasta más de 700 metros de profundidad, continúa en las capas más hondas en la mis-

ma proporción, á 3 kilómetros se deberá encontrar ya la temperatura del agua hirviendo, y á 40 kilómetros la mayor parte de las materias minerales conocidas deberán llegar á su punto de fusión. Falta, sin embargo, saber si la enorme presión que soportan las capas terrestres, á partir de esta profundidad, no es un obstáculo para su licuefacción, por lo cual la incandescencia del núcleo terrestre continúa en estado de hipótesis. Más adelante volveremos á tratar de este interesantísimo problema.

CAPÍTULO XV

LOS MANANTIALES DE CALOR

I

CALOR DESARROLLADO POR LAS COMBINACIONES QUÍMICAS. — LA COMBUSTIÓN

El Sol es el manantial de calor más abundante y económico; pero no el más cómodo, puesto que no podemos disponer de él á nuestro antojo, y precisamente cuando el astro se oculta ó sus rayos son menos fuertes es cuando más necesidad de calor tenemos; ni el más intenso, por cuanto, á no concentrarlo mediante aparatos dispendiosos, sólo produce temperaturas relativamente débiles. Por lo tanto, se puede asegurar que la civilización hubiera sido imposible si el hombre sólo hubiese tenido á su disposición el calor solar, y no hubiera encontrado en lo que se llama manantiales artificiales de calor con qué atender á las necesidades más indispensables de su existencia. La combustión viva, es decir, la combinación química de ciertos cuerpos con el oxígeno, es lo que principalmente constituye esta clase de manantiales, procediendo el nombre de manantiales ó focos artificiales de que el hombre puede utilizarlos á su albedrío y regular su intensidad según las necesidades del momento.

Por lo general, siempre que dos cuerpos se combinan, se desprende calor. Por ejemplo, una mezcla de agua y de ácido sulfúrico, ó de agua y cierta cantidad de cal viva va acompañada de una elevación de temperatura bastante grande, aunque no lo suficiente para producir luz. Por lo común es la combinación del oxígeno, uno de los gases constitutivos del aire, con ciertos cuerpos simples, la que, motivando un intenso desprendimiento de calor acompañado de luz, da lugar al fenómeno de la combustión viva. Mas para que un cuerpo combustible pueda arder, ya al aire libre, ya en el oxígeno puro, es preciso comunicar á uno de sus puntos una temperatura elevada; en otros términos, es preciso encenderlo. Comenzada ya la combustión, el calor que desprende se comunica cada vez más hasta que se consume del todo el gas comburente, ó hasta que el cuerpo con el cual se combina se ha consumido á su vez enteramente. Así es como obtenemos la lumbre de nuestros hogares, la luz de nuestras bujías y lámparas; y sabemos por experiencia que estos manantiales de luz y calor sólo duran mientras se les alimenta, esto es, mientras se les proporciona los dos elementos de la combustión.

Fácil es comprobar el cometido del oxígeno en la combustión al aire libre, mediante experimentos que cualquiera puede hacer. Si se llena de agua un plato en el cual