

humanidad, veían ya en el astro solar el gran motor de la creación, y sin embargo, adivinaban no más, bajo una forma asaz pálida, la magnitud de la acción permanente del gran foco de nuestro sistema en los mundos habitados que gravitan bajo su fecunda irradiación.

Si se reduce á valor productivo la potencia de los rayos solares, se vé que difunden sobre cada metro cuadrado una cantidad de calor suficiente para hacer hervir en menos de diez minutos un litro de agua que esté á la temperatura ordinaria, es decir, á la de nuestro clima. En un día despejado, lanza el Sol en París durante ocho ó nueve horas un trabajo de un caballo de vapor por metro cuadrado. El calor solar, emitido sobre una superficie de 100 piés cuadrados, corresponde en las latitudes tropicales á la combustión de más de 100,000 kilogramos de carbon por hora.

La intensidad del fenómeno calorífico que representa semejante consumo de hulla supera á cuanto pueda concebir la imaginación. El ingeniero americano Ericson, que se ha ocupado de las máquinas de vapor de que pronto hablaremos, ha calculado que el efecto mecánico del calor solar que cae sobre los tejados de Filadelfia podría poner en movimiento más de cinco mil máquinas de vapor de la fuerza de veinte caballos.

Arquímedes decía, al terminar un cálculo sobre la fuerza de la palanca, que si le dieran un punto de apoyo, se comprometería á levantar el mundo. El ingeniero citado pretende que «la concentración del calor radiado por el Sol produciría una fuerza capaz de detener á la Tierra en su camino!»

El calor es una fuerza con tan justo motivo como el movimiento. El calor producido por la elevación de temperatura de un kilogramo de agua á un grado más, es exactamente el mismo que el que se necesitaria para elevar á un metro de altura un peso de 425 kilogramos.

El calor solar es el manantial de los úni-

cos trabajos naturales que el hombre ha sabido utilizar en su provecho hasta el día. Y en efecto, entre dichos trabajos, apenas pueden citarse más que los que resultan del empleo del combustible, de los motores animados, de las corrientes de agua y del viento, siendo precisamente este calor el que produce los dos últimos, y el Sol, el que hace dar vueltas á los molinos, correr á las locomotoras, y hendir los aires á los globos.

En cuanto al combustible de la industria, también procede de él, pues en el estado de madera, es el carbono absorbido por los vegetales que respiran bajo la influencia del astro radiante, y en el de hulla, es asimismo carbono fijado en otro tiempo por la misma influencia en los grandes árboles antediluvianos.

Sea cualquiera la forma que la industria humana deba al concurso de los agentes naturales, no procede más que del Sol; estando todavía muy lejos de recoger la mayor parte del trabajo engendrado en nuestro planeta por aquel inmenso foco. Si, como la experiencia lo ha demostrado hace mucho tiempo, el calor recibido en breve espacio por una superficie de mediana extensión sometido á la insolación es considerable; si es fácil además preservar dicha superficie del enfriamiento conservándola en el centro que la rodea un exceso de temperatura inmenso; claro está que es posible el proponerse almacenar directamente el trabajo del calor solar. Harto se comprenderá toda la importancia que tendría semejante conquista en las regiones en que dicho calor es ardiente y la Atmósfera está siempre despejada, tanto más cuanto que en ellas se carece de la energía de los motores animados, de las corrientes de agua y de combustible.

Cuando los rayos del Sol han atravesado el aire, un vidrio ó un cuerpo trasparente cualquiera, pierden la facultad de atravesar de nuevo el mismo cuerpo trasparente para regresar á los espacios celestes. Merced á

un procedimiento fundado en esta ley física, los jardineros aceleran en la primavera la vegetación de las plantas delicadas cubriéndolas con una campana de cristal que admite los rayos solares, pero que no los deja escapar sino con mucha dificultad. Si el jardinero pone dos ó tres campanas una sobre otra, cuece, por decirlo así, la planta cubierta de tal modo, y aun en los días serenos de marzo y abril se vé con frecuencia en la precisión de levantar uno de los bordes de la campana de cristal para que la planta no sufra los efectos del sol de medio día. Saussure ha podido poner el agua en ebullición por medio de un aparato compuesto de una caja ennegrecida interiormente y de muchos cristales superpuestos, y sir John Herschel, durante su residencia en el Cabo de Buena Esperanza, logró guisar en estofado un trozo respetable de vaca, en los días calurosos del fin de diciembre, valiéndose de dos cajas ennegrecidas, colocada una dentro de otra y provistas de un solo vidrio cada una de ellas, sin más fuego que el calor de los rayos solares que se introducían sin poder retroceder en aquella especie de ratonera.

La caja de Herschel, cerrada solo por dos placas de vidrio, llegaba sucesivamente á 80, 100 y 120 grados de calor.

Por nuevo que nos parezca este hornillo, puede decirse, sin embargo, que es casi una reproducción del que usaron los Griegos. Cien años antes de nuestra era, Heron de Alejandría describió en sus *Pneumáticos* un gran número de ingeniosos aparatos legados por los antiguos, y seguramente por los sabios hierofantas de Egipto. Uno de ellos, construido al parecer por Heron, saca agua de un recipiente por el sólo efecto de la dilatación y condensación del aire bajo la influencia del sol, alternativamente presentado y desviado del aparato.

A fines del siglo XVI, el sábio napolitano J. B. Porta expuso en su *Mágia natural* las aplicaciones mecánicas del calor solar. «Si se coloca, dice, un globo de cobre en lo alto

de una torre, y se hace pasar desde él un tubo á un receptáculo de agua, se escapa el aire enrarecido cuando se calienta el globo superior por medio del fuego ó del sol. Al retirarse éste, la vasija de cobre se enfria, el aire se condensa y el agua es aspirada.»

Salomon de Caus publicó á principios del siglo XVII la descripción de la primera máquina elevatoria que *funcionaba* con el auxilio del sol, la cual no es otra que su *fuerte continua*. Supongamos una serie de cajas de cobre, llenas de agua en su tercera parte, y puestas sobre una cisterna. Sobre dicha serie de cajas se coloca un tubo horizontal que comunica por medio de otros tubitos verticales con el agua de aquellas. Como el calor solar dilata el aire, sufre cierta presión el agua que contienen, y que por esta causa pasa al tubo horizontal superior, en el cual hay practicada una abertura, por donde sale el líquido en forma de chorro.

Cuando ha subido una parte del agua contenida en las cajas, y al llegar la noche el aire empieza á enrarecerse, el agua de la cisterna que está en comunicación con aquellas por un tubo vertical, una válvula y un tubo horizontal, se eleva para llenar las cajas como estaban antes, «de suerte, dice Salomon de Caus, que este movimiento continuará mientras haya agua en la cisterna, y alternativas de sol y de noche.» Esta fuente continua, destinada al embellecimiento de los jardines, podría utilizarse mediante algunas mejoras para resolver económicamente el problema de la elevación de las aguas. Y en efecto ¿no es muy racional el proyecto de hacer subir las aguas valiéndose del mismo agente que las eleva en la naturaleza?

La concentración del calor solar en un recinto cerrado con vidrieras es un hecho experimental de tan fácil comprobación que se debe haber observado inmediatamente después de la invención del cristal. Sin embargo, á pesar de las diferentes pruebas que han podido hacerse con res-

pecto á este asunto, y no obstante las aplicaciones que acabamos de indicar, no vemos que se haya hecho un estudio completo del fenómeno hasta que lo verificó Saussure; pero despues de este y de Herschel procedieron á él otros muchos físicos. Este curioso problema se halla hoy en su fase mas interesante tal vez, en la que da resultados sérios por una parte, y permite, por otra, á la imaginacion que vislumbre otros mucho mas positivos para el porvenir (1).

(1) Gracias á los perseverantes trabajos de Mouchot, profesor en el liceo de Tours, podemos ya contar con aparatos que nos permitan sustituir los celestes rayos del sol al carbon vulgar, para la coccion de los alimentos.

En un bocal de vidrio se coloca una vasija de la misma forma, de cobre ó de hierro batido, cubiéndolo todo con una campana de vidrio. Esta sencilla marmita solar, colocada en el foco de un reflector cilindrico de plata, hace hervir en hora y media tres litros de agua á la temperatura inicial de 15 grados.

El reflector es una simple hoja de plaqué de plata de medio metro cuadrado de abertura.

Llégase fácilmente á las temperaturas de 100, 120, 150 y 200 grados centígrados!

Con esta marmita solar expuesta al sol ha conseguido M. Mouchot guisar una excelente olla, compuesta de un kilogramo de carne y una mezcla de legumbres. A las cuatro horas de insolacion quedó todo perfectamente cocido, no obstante el paso de algunas nubes por delante del sol, resultando el caldo tanto mejor cuanto que se fué cociendo la olla con una gran regularidad.

Merced á una ligera variacion de forma, se ha podido trasformar esta marmita en horno, y cocer en ella en menos de tres horas un kilogramo de pan, que no ofrecia ninguna diferencia con el de las tahnas.

Trasformándola en alambique, se ha logrado destilar alcohol, al cabo de cuarenta minutos de exposicion al sol. El alcohol era muy aromático.

Se ha fundido estaño (235°), plomo (335°) y zinc (460°).

Se ha hecho además un gran número de ensayos que sería ocioso especificar. Véase, pues, que el empleo del calor solar como fuerza motriz empieza á entrar en el dominio de la ciencia práctica. Verdad es que en nuestras comarcas, cubiertas de nublados con tanta frecuencia, no podría hacerse esta aplicacion en grande escala; pero por una parte, sería fácil acompañarla del calor artificial, cuando á ello hubiera lugar, y por otra, hay en la tierra inmensas comarcas donde no llueve nunca.

El autor propone que se entregue á nuestros soldados de Argelia una pequeña bateria de cocina que no

Véase, pues, que el calor solar representa una fuerza mecánica considerable. ¿Cuál puede ser la temperatura intrínseca de este foco de la vida planetaria?

Se han empleado diferentes métodos para llegar á determinarla. Colocando un termómetro en medio de un cilindro hueco lleno de agua caliente, cuya temperatura es conocida, y exponiéndola á los rayos del sol, el P. Secchi ha averiguado que el calor que dicho astro añade al del cilindro es siempre de unos 12° al nivel del mar, cualquiera que sea la temperatura de este, y por lo tanto calcula que sobre la Atmósfera, deduciendo la absorcion atmosférica, la diferencia será de 29°. M. Soret ha visto que en la cima del Monte Blanco era de 21°. Ahora bien, como el disco solar tiene un diámetro de 31'36", la relacion entre su superficie y la de la esfera celeste es de 183,960. El P. Secchi multiplica, pues, 29° por esta cifra, y deduce que la temperatura

exigiria por cierto combustible en las arenas del Sahara ó en las nieves del Atlas. En Cochinchina, donde el agua se ha de someter á la ebullicion para hacerla potable, no se necesitarian combustibles para esta operacion. Merced al calor solar, se pueden tener constantemente surtidores en las habitaciones, pues no hay ningun aparato, ni aun el que sirve para fabricar el hielo, que no pueda funcionar con el auxilio del mismo agente. La conservacion de los granos por medio de un calor lento, la calefaccion de los vinos al baño María, la fabricacion de la cola, de las bugias, del negro animal, la destilacion de las esencias, la extraccion de la sal del agua del mar, la refinacion del azufre, etc., etc., todos estos trabajos puede producirlos el calor solar.

El carbono fijado en la hulla por el sol es el que pone en movimiento las locomotoras, pero ¿por qué medio se calentarán las calderas cuando se hayan agotado las minas de carbon de piedra, lo que relativamente sucederá pronto (dentro de dos siglos)? ¿Quién sabe? ¿No será acaso directamente por el Sol? Hé aquí una aplicacion industrial sin precedente.

Pues veamos otra que nos presenta el sábio profesor de Tours. La fuerza de la máquina de vapor solar aumenta á medida de la elevacion en la atmósfera, puesto que entonces el punto de ebullicion de los líquidos desciende al propio tiempo que el ardor relativo del sol aumenta y que el enfriamiento del aire favorece la concentracion de los vapores. ¿Acaso no estribará tambien aquí el secreto de la navegacion aérea?...

emanada del Sol es de 5.334,000 grados. Además, como la atmósfera del Sol absorbe á su vez la mitad de los rayos de dicho astro, duplica esta cantidad, y saca en conclusion que la temperatura del mismo Sol debe ser de 10 millones de grados próximamente.

Este resultado ha sido sumamente discutido, desde la primera edicion de esta obra, en el seno de la Academia de ciencias. Y como, por una parte, otros métodos hacen llegar solamente á 3000° este calor, y por otra, ni el espíritu científico, ni la imaginacion misma pueden formarse una idea de un calor de 10,000, 100,000, 1.000,000, 100.000,000 de grados, parece que no debemos deducir todavía nada con respecto á este punto, aun cuando afirmemos la extraordinaria elevacion de esta temperatura.

Este calor es el que sostiene y fecunda los planetas habitados; y por lo que toca al nuestro en particular, el calor interior del globo parece que no ejerce ninguna accion en los fenómenos de la vida que tienen lugar en su superficie.

Digamos algunas palabras sobre el calor interior.

Por lo que respecta á Francia, Mairan, Buffon, y Bailly calculaban que el calor que se escapa del interior de la tierra era 29 veces superior en verano, y 400 en invierno al que recibimos del Sol; por consiguiente, el calor del astro que nos ilumina debe formar una mínima parte del calor del globo. Esta idea ha sido desarrollada con gran elocuencia en las *Epocas de la naturaleza*; pero la ingeniosa trama á la que sirve de base se ha disipado como un fantasma ante la severidad de los cálculos matemáticos.

Habiendo descubierto Fourier que el exceso de la temperatura total de la superficie terrestre sobre la que resultaria de la exclusiva accion de los rayos solares tiene una relacion necesaria con el aumento de las temperaturas á diferentes profundidades, ha podido deducir del valor experimental de este aumento una determinacion

numérica del exceso en cuestion, es decir, del efecto termométrico que el calor central produce en la superficie; pues bien, en vez de las grandes cantidades indicadas por Mairan, Bailly y Buffon, el sábio calculador ha obtenido por resultado ¡la trigésima parte de un grado!

La superficie del globo, que era probablemente incandescente en el origen de las cosas, se ha enfriado en el decurso de los siglos, de tal modo que apenas conserva un vestigio sensible de su temperatura primitiva. Sábese, sin embargo, que el calor aumenta á medida que se desciende por el interior de la tierra, en razon de un grado por cada 35 metros, y que este calor es enorme en las raices de los volcanes. El tiempo introducirá grandes modificaciones en estas temperaturas interiores. En la superficie (y los fenómenos de la superficie son los únicos que pueden alterar ó comprometer la existencia de los seres vivientes) tienen lugar todos los cambios como á un trigésimo de grado. Por consiguiente la espantosa congelacion del globo cuya época fijaba Buffon para el momento en que el calor interior se hubiera disipado enteramente es un puro sueño! En la actualidad ya no sirve de nada.

Y ahora, ¿cuál es la *temperatura del espacio*?

Question es esta que, desde el principio de este siglo especialmente, ha dado lugar á un considerable número de investigaciones, que es interesante resumir aquí en pocas palabras.

Bien se halle vacío el espacio infinito en las regiones intrasiderales, ó (lo que es mas probable) bien esté ocupado por un centro de naturaleza desconocida sumamente tenue que se ha convenido en llamar *éter*, y tan ligera que todo lo que existe en este sistema planetario no llega á pesar un kilogramo, lo cierto es que las estrellas son otros tantos soles, que emiten rayos luminosos y caloríficos, y que el espacio no es absolutamente frío.

La Tierra misma atraviesa de siglo en siglo regiones cuya temperatura varía, llegando Pousson á suponer que el calor puede proceder de allí.

El geómetra Fourier dedujo que la temperatura del espacio en cuyo seno gravita actualmente el sistema planetario era de 50 á 60 grados bajo cero. Como quiera que Arago observara que el termómetro marcaba en el fuerte Reliance —57 grados, dedujo á su vez que la temperatura del espacio es notablemente inferior á esta cifra, colocándola entre —60 y —70.

Pouillet fijaba dicha temperatura en 140 grados bajo cero, en vista de los experimentos hechos con el actinómetro, y, extraña consecuencia, el mismo físico decia que este calor equivale á los $\frac{5}{6}$ del solar y que era bastante para fundir cada año en nuestro globo una capa de hielo de 26 metros.

Ha sido preciso esperar la reciente creación de una de las ramas más fecundas de la física moderna, la *teoría mecánica del calor*, para tener una respuesta matemática sobre un punto tan discutido. Gracias á los principios fijados por esta ciencia, sabemos ahora que el descenso indefinido de la temperatura es una pura ficción, así como que existe un *cero absoluto* en el que desaparece todo calor de los cuerpos, y que este cero para todos los del universo es de 273 grados bajo el hielo fundente.

Supongamos por un momento que la Tierra no esté calentada ni por los rayos solares, ni por ningún otro rayo calorífico, y veamos los fenómenos que de ello resultan.

Todas las moléculas del aire atmosférico irradiarían su calor en todos sentidos y se enfriarían cada vez más, porque no habría nada que reparara sus pérdidas; al aumentar su densidad, caerían sobre la tierra, al paso que se remontarían otras moléculas para ir á enfriarse á su vez.

Al cabo de algunos siglos, todo el calor del globo, tanto el central y primitivo como el superficial y conservado por el Sol, quedaría disipado en el espacio; pero esta disipación sería más ó menos rápida en los diferentes países, según que la superficie del suelo fuese más ó menos radiante y la conductibilidad de las capas inferiores más ó menos perfecta.

Los innumerables astros luminosos que ocupan las diversas regiones del cielo no están desprovistos de calor; y por lo tanto, los espacios celestes tienen cierta temperatura, que debe ser de 273 grados bajo cero, según acabamos de decir, y nuestro globo, suspendido en medio de esos espacios con la Atmósfera por cubierta diatérmica, cesaría de enfriarse cuando se hubiera equilibrado con dicha temperatura.

Pero este «calor» sería un verdadero frío incomparablemente más rudo que todos los de los hielos del polo, y extinguiría hasta sus raíces la vida terrestre.

Así pues, ni la temperatura del espacio, ni la del globo ejercen actualmente una influencia sensible en la superficie de la tierra, siendo el calor solar el que organiza la circulación de los aires, de las aguas, de los elementos, de la vida entera, como vamos á demostrarlo mejor aun en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO II

EL CALOR EN LA ATMÓSFERA

EL TALLER Y LA FUERZA.—EL VAPOR DE AGUA.—FUNCION DE LA ATMÓSFERA EN LA ABSORCION DEL CALOR.—LAS ATMÓSFERAS PLANETARIAS.—DESCENSO DE LA TEMPERATURA Á MEDIDA DE LA ELEVACION

Pasemos ahora á ocuparnos de otro punto importante, cual es el de comprender y apreciar en su justo valor la cantidad de esa inmensa irradiación calorífica emanada incessantemente del foco solar puesta en juego en la Atmósfera, organizando su circulación.

La meteorología no es más que un gran problema de física, puesto que tiende á determinar las leyes que regulan el modo cómo se distribuyen en nuestra atmósfera el calor, la presión barométrica, el vapor de agua y la electricidad, todo ello relacionado con los movimientos que el calor solar engendra en la capa superficial sólida, líquida y gaseosa de nuestro globo. Por vasto que sea este problema, dice el P. Secchi, nuestro ilustre académico correspondiente del Observatorio de Roma, no consiste en el fondo sino en una aplicación de las leyes más conocidas de la física; las dificultades de la solución dependen más bien del gran número de causas perturbadoras y de las reacciones incalculables de los efectos sobre las causas, que de existir un verdadero vacío en la teoría general. De aquí la necesidad de numerosos datos experimentales para llegar á una solución.

La Atmósfera es en realidad una inmensa máquina, á cuya acción se halla subordinado todo cuanto está dotado de vida en nuestro planeta. Aunque esta máquina no tenga ruedas, ni émbolos, ni engranajes, no por eso deja de hacer el trabajo de muchos millones de caballos, trabajo que tiene por objeto y por efecto la conservación de la vida.

Todos los movimientos de la Atmósfera son la consecuencia de la propiedad que tienen los gases de dilatarse por el calor. Estas variaciones de volumen, y por consiguiente de densidad, perturban á cada momento el equilibrio que tendería á establecerse en el aire atmosférico. El aire, caldeado en las zonas ecuatoriales, se eleva hácia las regiones superiores para volver á bajar cerca de los polos; enfriase allí, regresa al ecuador, y empieza de nuevo su movimiento de circulación. El trabajo que de este modo desempeña la Atmósfera es inmenso. Nuestras flotas surcan el mar impelidas por los vientos, y tanto el hálito suave de los céfiros como la furia de los huracanes son el efecto de la potencia solar almacenada en esa gigantesca fábrica de gas.