

las comparaciones intuitivas que establecemos caprichosamente entre grandes objetos de conocidas dimensiones, como casas, torres, cúpulas, y la Luna, que situada siempre más allá, nos parece de dimensiones aparentes facilísimamente comprobables.

## APÉNDICE.

### APLICACIONES INDUSTRIALES DEL CALOR SOLAR.

## I.

Mantiénese la vida terrestre suspendida por la áurea cadena de los rayos del Sol. Del mismo modo que la invisible manó de la atracción solar sostiene á nuestro globo en los abismos del espacio, la vida vegetal y animal, que florece en su superficie, se alimenta en su inconmensurable fuerza de la actividad del Sol.

Las antiguas religiones, los primeros cantos de la humanidad, saludaban ya en el astro mayor del firmamento al gran motor de la creación. Presentian ya, aunque débilmente, la grandiosidad de la acción permanente del Sol sobre los mundos habitados que gravitan en su fecunda radiación.

Tres clases de rayos emanan del Sol: los rayos

luminosos, los caloríficos y los químicos. A los primeros debe la naturaleza la belleza sin par de una juventud eterna; dan los segundos al mundo su fuerza y su calor; tejen, los últimos, la tela de Penélope de la vida planetaria.

En estas líneas queremos solo ocuparnos de los rayos caloríficos, que han podido ser, desde hace algunos años, medidos y apreciados, gracias á los más recientes trabajos de las ciencias de experimentacion.

Los rayos caloríficos descienden á la superficie de la Tierra, y esparcen, *en cada metro cuadrado*, una cantidad de calor suficiente para hacer hervir, en menos de diez minutos, un litro de agua á la temperatura ordinaria.

En un día despejado el Sol lanza sobre París, en ocho ó nueve horas, un trabajo de cerca un caballo de vapor por metro cuadrado. El calor solar emanado por una superficie de 100 piés cuadrados, corresponde en las latitudes tropicales, á la combustion de más de 100,000 kilogramos de carbon por hora.

Traspasa los límites de nuestra imaginacion la intensidad de un fenómeno calorífico que se produce por tan enorme consumo de hulla. El ingeniero americano Ericson, que se ha ocupado de máquinas solares de vapor, de las que más tarde hablaremos, ha calculado que el efecto mecánico del calor solar que cae en los tejados de Filadel-

fia, podria alimentar 500 máquinas de vapor, de la fuerza de 25 caballos cada una. Arquímedes, al terminar su cálculo sobre la fuerza de la palanca, dice que si le daban un punto de apoyo, removeria el mundo. Ericson afirma que: «la concentracion del calor radiante del Sol produciria una fuerza capaz de detener la Tierra en su marcha por el espacio.»

El calor es una fuerza con los mismos títulos que el movimiento. El trabajo producido por la elevacion de 1 grado de temperatura en 1 kilogramo de agua, es exactamente igual al que seria necesario para elevar á la altura de 1 metro un peso de 425 kilogramos.

Sobre toda la estension de nuestro globo se opera constantemente un inmenso trabajo. Con relacion á los espacios celestes, la Tierra es un vasto invernáculo. El aire que por todas partes la rodea forma á su alrededor una atmósfera transparente, análoga á los cristales de los invernáculos; el aire hace con respecto á los rayos caloríficos, lo mismo exactamente que el cristal, dá paso á los que bajan del Sol, y no deja salir á los que suben del suelo. Gracias al vapor que existe siempre en la atmósfera, el calor solar calienta á la misma. Ella, en estado invisible, tempera ya el ardor solar, conservando una tibia capa sobre la Tierra. En estado de nubes se opone á la radiacion del suelo é intercepta el calor solar.

Una de las mayores armonías de la naturaleza, que embelesa y sume en dulce éxtasis al alma, es la que ofrece el agua en el círculo eterno que recorre. Bajo la influencia de los rayos caloríficos del Sol, se eleva de los mares en forma de vapor; condénsase en la atmósfera y cruza caprichosa por ella, á merced de los vientos, en forma de nubes; desciende de nuevo al suelo deshecha en gotas de lluvia, ó en copos de nieve, y vuelve por los ríos al seno de los mares que la han formado.

En el Sol tienen su origen todos los movimientos de la atmósfera: las vastas corrientes de los mares, las de los ríos á través de los continentes, las de las gotas de agua en las plantas. Él fija el carbono en los árboles de los bosques, y nutre el reino vegetal. En sus rayos el reino animal alimenta su máquina orgánica, y se puede caracterizar juiciosamente la influencia solar sobre los seres organizados, diciendo que tiene por objeto almacenar el combustible en los vegetales, y permitir á los animales la conversión de este combustible en movimiento.

También del Sol proviene el combustible que consume la industria; en estado de carbono vegetal, es carbono absorbido por los vegetales, respirando en el aire bajo la influencia solar; en estado de carbono de piedra, es también carbono fijado, hace muchos miles de siglos, por la misma influencia, en los grandes árboles antediluvianos.

No solamente produce sin cesar el calor solar un trabajo colosal en el laboratorio de la Tierra, sino que también es, por decirlo así, el manantial de los trabajos naturales que se esparcen por el mundo, y alguno de los cuales ha sabido encauzar el hombre en su provecho. Entre estos trabajos se cuentan los que resultan del empleo del combustible, de los motores de sangre, de las corrientes de agua y del viento. Solo los rayos del Sol hacen correr los vientos y los ríos; solo el Sol, por lo tanto, dá fuerza al molino, empuja la locomotora, é impulsa al globo aereostático.

Sea cual fuere la forma con que aplica á su favor el concurso de los agentes naturales, la industria humana no es debida más que al Sol. Con todo, no aprovecha aun la mayor parte del trabajo que el astro luminoso engendra sobre la Tierra. Si, como lo ha establecido la experiencia, el calor recibido en poco tiempo por una superficie, de estension mediana, sometida á la insolacion, es considerable; si, además, es fácil preservar esta superficie del enfriamiento, conservando sobre ella un exceso de muchos grados de temperatura, es evidente que puede llegar á almacenarse directamente el trabajo del calor solar. Salta á la vista toda la importancia de una aplicacion parecida en los países en que el Sol es ardiente y la atmósfera pura, ya que en tales regiones abundan poco, ó faltan por completo, la energía de los mo-

tores de sangre, las corrientes de agua y el combustible,

¿Existen medios para construir, con poco coste, depósitos en que se acumule el calor solar? ¿Se puede almacenar el calor del Sol, y utilizarle en lugar de carbon, para obtener los efectos producidos por el calor artificial?

Cien años antes de nuestra era, Heron de Alejandría describió en sus *Pneumáticas* gran número de ingeniosos aparatos, legados por sus predecesores, y sin duda por los antiguos sábios de Egipto. Uno de estos aparatos, que parece inventado por Heron, extrae el agua de un depósito por el solo efecto de la dilatacion y la condensacion del aire bajo la influencia del Sol, alternativamente mostrado ó escondido al aparato.

A fines del siglo XVI, el sábio napolitano J. B. Porta, expone en su *Mágia natural* las aplicaciones mecánicas del calor solar. Si se coloca, dice, en la cima de una torre, una esfera de cobre que comunique por un tubo con un depósito de agua, situado al pié del edificio, calentada la esfera por los rayos del Sol, se escapa el aire rarificado. En breve, al desaparecer el Sol del horizonte, se enfria la esfera metálica, el aire se condensa, y el agua es aspirada.

Salomon de Caus, á principios del siglo XVII, dió la descripcion de las primeras máquinas elevatorias, *funcionando* con auxilio del Sol. Es co-

nocida bajo el nombre de fuente continúa, y su descripcion detallada se puede ver en todos los tratados de física.

Esta fuente continúa no es solo una máquina curiosa destinada á embellecer los jardines, es verdaderamente una *bomba* solar que, con algunas modificaciones, puede servir para resolver económicamente el problema de la elevacion de las aguas. Nada hay, efectivamente, más natural que el proyecto de hacer ascender las aguas por medio del mismo agente que del mar las eleva á la atmósfera.

La concentracion del calor solar en un reducido espacio cerrado por cristales, es un hecho experimental, tan fácil de probar, que de seguro habrá sido observado desde muy antiguo. Con todo, á pesar de las muchas investigaciones practicadas, y de las aplicaciones que acabamos de señalar, no se encuentra, antes del hecho por Saussure, un estudio científico completo del fenómeno. Con ayuda de cajas rectangulares hechas con cristales de Bohemia, este físico observó en 1767, los termómetros que en su interior habia colocado. El termómetro colocado en la parte más inferior, subia rápidamente hasta los 87 grados, temperatura suficiente para cocer y extraer el jugo de los frutos.

Diversos estudios, relacionados con el anterior, fueron emprendidos por distinguidos físicos. Ac-

tualmente este curioso problema ha entrado en su fase más interesante tal vez, en la que, por una parte, dá resultados prácticos positivos, y por otra, permite á la imaginacion augurar para el porvenir resultados mucho más considerables.

Gracias á los perseverantes trabajos de M. A. Mouchot, profesor en el Liceo de Tours, podemos poseer aparatos que nos permiten sustituir los celestes rayos del Sol, al vulgar carbon, para cocer los alimentos.

En un receptáculo de vidrio se coloca un vaso de la misma forma, de cobre ó hierro, y se cubre todo con una envoltura de cristal. Esta simple marmita solar, colocada en el foco de un reflector cilindrico de plata, hace hervir, en hora y media, 3 litros de agua, á la temperatura inicial de 15 grados.

El reflector es una simple hoja de plaqué de plata, cuya abertura es de 50 centímetros cuadrados.

Con este aparato M. Mouchot ha podido confeccionar, con ayuda del Sol, una excelente *olla podrida*. Al cabo de cuatro horas de insolacion, la carne y las legumbres estaban perfectamente cocidas, á pesar del paso de algunas nubes por el Sol, siendo el gusto tanto mejor, cuanto que el aumento de temperatura se habia producido con suma regularidad.

Introduciendo una ligera variacion en la forma

del aparato, le ha convertido luego en horno, cociendo en menos de tres horas 1 kilogramo de pan, enteramente igual al ordinario.

Transformándole luego en alambique, ha podido destilar alcohol al cabo de cuarenta minutos de esposicion al Sol. El alcohol era muy aromático.

Seria superfluo referir los muchos y diversos ensayos verificados todos con éxito completo. Bastan los anteriores para probar que empieza á entrar en el dominio de la ciencia práctica el empleo del calor solar como fuerza motriz. En las provincias de Francia, cuya atmósfera cubren casi siempre las nubes, estas aplicaciones no podrian hacerse en mucha escala, pero muy bien se podrian añadir al calor artificial, cuando se presentasen ocasiones favorables, y mejor efecto estético producirian las cocinas en las azoteas, que en los súcios y reducidos cuartos que hoy comunmente ocupan.

En Argei, el autor propone distribuir á nuestros soldados, una pequeña batería de cocina que no exigiria combustible en las arenas del Sahara ni en las nieves del Atlas. En Conchinchina, en que se ha de hacer hervir el agua para poderla beber, se conseguiria hacerla potable sin combustible. La conservacion de los granos por el calor, el calentamiento de los vinos al baño Maria, la fabricacion de cola, de velas, de negro

animal, la destilacion de esencias, la extraccion de sal, la depuracion del azufre, etc., son trabajos que el calor solar, bien aplicado, puede producir.

En la locomotora saludamos el carbon fijado en la hulla por el Sol, é inquietos nos preguntamos qué combustible calentará las calderas cuando se agoten los depósitos subterráneos de carbon de piedra. ¿Quién sabe? Tal vez la aplicacion del calor del Sol pueda resolver esta dificultad.

Segun el mismo profesor de Tours, la fuerza de la máquina solar de vapor, crece á medida que el aparato se eleva en la atmósfera, porque en tal caso el punto de ebullicion de los líquidos, desciende al mismo tiempo que aumenta el ardor relativo del Sol, y el enfriamiento del aire favorece la condensacion de los vapores. ¿Será este el secreto de la navegacion aérea?

Hé aquí un nuevo aparato, análogo al receptor solar de M. Mouchot.

M. Delaurier recibe los rayos del Sol en un cono truncado, sin fondo, revestido en su interior de plaqué bruñido, y en cuyo cono penetran los rayos solares por la abertura más ancha. Segun las leyes de reflexion todos los rayos directos ó reflexos deben concentrarse en el fondo de este cono. Cuanto más prolongado sea, menor será la abertura de su cima, y mayor, por consiguiente, la concentracion del calor.

Este sencillo aparato puede causar una revolu-

cion industrial, especialmente en el Africa francesa y en todos los países en que se muestra más pródigo de favóres el Sol.

El procedimiento que M. Delaurier indica reune, entre otras ventajas, la de que se puede obtener con poco coste, construyendo un aparato de madera (en forma de pirámide) y cubriéndole interiormente con hojas de estaño. Esta pirámide debe ser prolongada en razon directa de la concentracion mayor ó menor que se desee obtener de los rayos solares.

## II <sup>1</sup>.

Desde hace diez años M. Mouchot, profesor en el Liceo de Tours, busca afanoso una solucion al extraño problema de aplicar á la industria el calor del Sol almacenado en aparatos especiales. Sobre este particular publicó M. Mouchot, algunos años ha, una obra extensa que fué acogida con mucho interés y leida con suma curiosidad. Su autor continuó en la misma clase de investigaciones, y en 1875 ha dirigido á la Academia de

<sup>1</sup> Creemos que nuestros lectores nos agradecerán que incluyamos en este apéndice el siguiente análisis de los últimos trabajos de Mr. Mouchot, que acaba de publicar el distinguido escritor Luis Figuier. N. del T.

Ciencias de París, una Memoria conteniendo el resultado de sus nuevas experiencias.

El *receptor ó generador solar* construido hace diez años por M. Mouchot, se compone de tres partes distintas: un espejo metálico, una caldera ennegrecida, cuyo eje coincide con aquel foco, y una cubierta de cristal que deja llegar á la caldera los rayos solares, pero que impide su salida despues de haberse transformado en rayos oscuros.

El autor ha podido convencerse que da muchos mejores resultados un generador grande que otro pequeño.

Mas de tres años hace que M. Mouchot ha instalado en Tours un generador de bastantes dimensiones.

La forma del espejo es la de un tronco de cono, de bases paralelas. La pared reflectora está formada por doce sectores de plaqué, que resbalan en el armazon de hierro sobre que están montados.

El diámetro de abertura del espejo es de 2 metros 60 centímetros; el del fondo es de 1 metro. Por lo tanto la superficie de insolacion es de 4 metros cuadrados.

Para disminuir el efecto del viento, se coloca un disco de fundicion en el fondo del espejo. La caldera se eleva del centro de este disco; su altura es la misma que la del espejo.

Esta caldera es de cobre y está pintada de negro exteriormente: se compone de dos cubiertas concéntricas, en forma de campanas, unidas en su base por una pieza de hierro. La cubierta mayor tiene una altura de 80 centímetros, y de 50 centímetros la más pequeña; sus diámetros son respectivamente de 28 y 32 centímetros. Entre estas dos cubiertas se introduce el agua de alimentacion que forma en la caldera un cilindro anular de 3 centímetros de espesor.

La cantidad de líquido no puede pasar de 20 litros, de modo que quede un espacio de 10 litros para el vapor. La cubierta interna, que permanece vacía, está terminada por un tubo de cobre que comunica por un extremo con el depósito del vapor, y por el otro con el motor que se desea ó con el hogar de un alambique. De la base de la caldera parte un segundo tubo que sirve para alimentar el aparato.

La cubierta de vidrio es una campana que tiene 85 centímetros de altura, 40 de diámetro, y 5 milímetros de espesor. Un intervalo de 5 centímetros separa sus paredes de las de la caldera; la campana solo se adhiere por su pié al fondo del espejo. Dispuesto de esta manera el generador debe girar 15.º por hora en torno de un eje paralelo al del mundo, inclinándose progresivamente sobre este eje, segun la altura del Sol sobre el horizonte. Este resultado se consigue por una disposicion mecánica conveniente.

He aquí algunos resultados producidos por este aparato:

El 8 de mayo de 1875, con buen tiempo, 20 litros de agua á  $+ 20^{\circ}$ , introducidos en la caldera á las 8'30 minutos de la mañana, produjeron en cuarenta minutos vapor á 2 atmósferas, es decir á  $+ 121^{\circ}$ .

Este vapor se elevó enseguida rápidamente á la presión de 5 atmósferas, límite que no sin peligro se hubiera podido traspasar, ya que las paredes de la caldera solo tenían tres milímetros de espesor, y el esfuerzo total de la expansibilidad del vapor que resistían era entonces de 40.000 kilogramos.

Al medio día, con 15 litros de agua en la caldera, en menos de quince minutos, el vapor á  $100^{\circ}$  adquirió la presión de 5 atmósferas; en otros términos se elevó á la temperatura de  $+ 153^{\circ}$ .

El 22 de julio, á la una de la tarde, haciendo un calor excepcional, el aparato vaporizó 5 litros de agua por hora, lo que corresponde á una producción de vapor de 140 litros por minuto.

M. Mouchot se sirvió primeramente en sus experiencias, de una máquina de vapor sin condensador que daba 70 golpes de piston por minuto, á la presión de una atmósfera. Reemplazóla luego por una pequeña máquina giratoria del sistema Berliens.

Conducido el vapor del aparato al hogar de un

alambique, en quince minutos se pudieron destilar cinco litros de vino. Inútil es añadir que con este vapor se cocían casi instantáneamente las legumbres, el forraje del ganado, etc.

El autor hace notar que la temperatura de la caldera no es uniforme, porque la intensidad del calor sigue una progresión creciente de la base á la cima. Por otra parte las planchas de plaqué solo envían á la caldera una débil parte de calor, ya que solo tienen un cuarto de milímetro de profundidad y están llenas de abolladuras.

Los mas fuertes vientos no conmueven el espejo ni tienen influencia alguna sobre la intensidad del calor solar utilizado. Este calor no difiere mucho entre las seis y las siete de la mañana, del que produce á mediodía. El cristal calentado no corre riesgo alguno de romperse con la lluvia ó con el granizo.

A buen seguro pocos hechos podrán presentarse más curiosos que los citados y que tengan mayor originalidad. Con todo, hemos de confesar que ya en la antigüedad se sacaba partido del calor solar. Un fragmento de Plutarco nos lo probará evidentemente. En su vida de Numa Pompilio, se lee lo siguiente:

«La vigilancia de las sagradas vírgenes, llamadas Vestales, era también una obligación del gran pontífice; á Numa se remonta la institución de las Vestales, la consagración del fuego que arde

eternamente, confiado á su guardia, y los ritos y ceremonias que tales sacerdotisas observan. Tal vez Numa pensaba que la pura é incorruptible sustancia del fuego no debia ser confiada más que á cuerpos castos, exentos de mancha; tal vez veia en el fuego estéril é infecundo por su naturaleza, una sensible semejanza con la virginidad. En efecto, en los lugares de Grecia, en Pyto, en Atenas, donde arde un fuego perpetuo, no son vírgenes-las que cuidan de mantenerlo, sinó viudas que han pasado la edad de contraer nuevo matrimonio.

«Cuando este fuego llega á apagarse por algun accidente ( como se dice que se extinguió la lámpara sagrada en Atenas, durante la tiranía de Aristion; en Delfos, cuando el templo fué incendiado por los Medas; en Roma, durante la guerra de Mitrídates, en que el incendio devoró altar y templo) está prohibido encenderlo de nuevo con fuego ordinario, y se ha de hacer nuevo fuego, sacando del Sol una llama pura y sin mezcla.

«Para conseguirlo se emplean unos vasos cóncavos, cuyas paredes interiores forman triángulos rectángulos isóceles, y en los que todas las líneas que parten de la circunferencia converjen á una misma línea recta, que es el eje del cono engendrado por la revolucion del triángulo isóceles. Estos vasos se exponen al Sol y los rayos re-

flejados por todos los puntos de la circunferencia se reunen en el centro comun; hacen allí más sútil el aire, dividiéndolo; adquieren por la reflexión la naturaleza y la potencia del fuego, y abrasan rápidamente las materias secas y ligeras que se les presentan. »

Al citar á Plutarco, no tratamos de disminuir en lo más mínimo el mérito del trabajo de M. Mouchot, que es real, sobre todo cuando se le considera bajo el punto de vista de las aplicaciones. Unicamente hemos querido hacer constar que los antiguos no eran, como se pretende, tan ignorantes en el conocimiento de la naturaleza, ya que conocian la nocion y la aplicacion de ese fenómeno que, aun hoy mismo, nos causa á todos honda sorpresa.